

72
2ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Química

ANTEPROYECTO DE UNA PLANTA PRODUCTORA DE
HIPOCLORITO DE SODIO A PARTIR DE AGUA DE MAR
POR MEDIO DE UNA CELDA ELECTROQUIMICA.

TESIS MANCOMUNADA

Que para obtener el Título de
INGENIERO QUIMICO

p r e s e n t a n

MARCELO EDMUNDO HERRERA DIAZ
JORGE ESTRADA ARTEAGA



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN
México, D. F.

1993



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

CONTENIDO

PAGINA:

1.- INDICE.	1
2.- PREFACIO.	3
3.- INTRODUCCION.	4
4.- JUSTIFICACION.	9
4.1.- PRINCIPALES USOS Y PROPIEDADES.	11
4.2.- PRODUCTORES A NIVEL NACIONAL.	18
4.3.- PRINCIPALES METODOS DE PRODUCCION.	19
4.4.- SELECCION DEL PROCESO.	27
5.- MERCADO POTENCIAL Y LOCALIZACION DE LA PLANTA.	28
6.- INGENIERIA.	37
6.1.- DESCRIPCION DE LA RUTA QUIMICA.	37
6.2.- BALANCES DE MATERIA Y ENERGIA.	50
6.3.- BASES DE DISEÑO.	66
6.4.- DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO.	74
6.5.- LISTA DE EQUIPO DE PROCESO.	75
6.6.- CRITERIOS DE DISEÑO.	79
6.7.- DIMENSIONAMIENTO Y HOJAS DE DATOS.	85
6.8.- FILOSOFIA DE OPERACION.	102

7.- ANALISIS ECONOMICO.	106
7.1.- CALCULO DE LA INVERSION INICIAL DE LA PLANTA	106
7.1.1.- COSTEO DE EQUIPOS	106
7.1.2.- ACTIVO FIJO Y CAPITAL DE TRABAJO	107
7.2.- COSTOS DIRECTOS E INDIRECTOS DE PRODUCCION.	109
7.2.1.- BALANCE DE REULTADOS	112
7.2.2.- CALCULO DEL FLUJO NETO DE EFECTIVO	112
7.2.3.- VALOR PRESENTE NETO	112
8.- CONCLUSIONES	114
9.- BIBLIOGRAFIA	118

PREFACIO

El objetivo del presente anteproyecto es el de proponer un nuevo proceso para la obtención de hipoclorito de sodio, utilizando como materia prima agua de mar en lugar de la tradicional cloración de una solución de sosa cáustica; el cual será destinado basicamente al blanqueo de pulpa de celulosa para la elaboración de los distintos tipos de papel.

Así mismo se pretende dar una alternativa más a los procesos ya existentes para la producción a gran escala de este hipoclorito en cuestión, aprovechando también los subproductos que se generen durante el proceso de fabricación como es el agua ultrapura, para tener una mayor rentabilidad del proyecto.

INTRODUCCION

Los hipocloritos son sales del ácido hipocloroso (HClO), como ejemplos tenemos el hipoclorito de sodio (NaClO), el hipoclorito de calcio ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$) y el hipoclorito de potasio, entre los más conocidos.

Las lejías hipocloríticas se obtienen por tratamiento del cloruro de calcio con sulfato de sodio, carbonato de sodio o sosa y principalmente por la reacción de cloro gaseoso con una solución de sosa o en carbonato de sodio o aún mejor, en la mezcla de ambos bien acoplado a la electrólisis de álcalis o en proceso separado.



En la industria se trabaja normalmente con depósitos cerrados con agitación a 30°C haciendo reaccionar una mezcla gaseosa de cloro y aire con una solución de sosa.

Las sales de metales pesados descomponen catalíticamente a los hipocloritos, es por esto que debe evitarse su presencia. Así mismo, los hipocloritos sufren descomposición fotolítica, por lo que deben preservarse resguardados de la luz. Las soluciones ácidas o básicas de hipoclorito decoloran fácilmente, pero también se descomponen igual de rápido pasando a cloratos.



BLANQUEO

Ya que el hipoclorito de sodio estará destinado al blanqueo de pulpa de celulosa es conveniente dar una breve explicación del blanqueo en sí, así como de los pasos que conllevan al tratamiento de la pulpa.

El blanqueo de las fibras celulósicas es una etapa importante en la fabricación de pulpa que se va a usar en papel y productos del mismo. Inicialmente, el blanqueo de la celulosa era obtenido mediante una reacción fotolítica gracias a la acción de la luz solar sobre celulosa húmeda. Este proceso permaneció inalterado hasta el siglo XVIII.

A raíz del descubrimiento y obtención del cloro elemental por el químico sueco, Karl Wilhelm Scheele, surgió el blanqueo químico gracias a que se observó que este elemento tenía una poderosa acción sobre la fibra de celulosa. Descubrimientos posteriores dieron lugar a la formación de soluciones de hipoclorito mediante la disolución del gas cloro en soluciones alcalinas; estos hipocloritos tienen la facultad de volver incoloros o solubles en agua a los pigmentos.

El escocés Charles Tennant en 1798 fue el responsable de el mayor adelanto en cuanto a blanqueo químico se refiere, al descubrir que el gas cloro disuelto en lechada de cal formaba una solución capaz de blanquear la fibra celulósica a un costo razonable. Este nuevo compuesto, el hipoclorito, fue la columna vertebral de la industria del blanqueo de pulpa hasta la primera parte del siglo XX.

El blanqueo puede ser definido como la destrucción o solubilización de la materia colorida de tal forma que sea posible obtener una mayor reflexión de la luz blanca (blancura).

Para que un proceso de blanqueo sea comercialmente viable debe preservar e incluso mejorar las propiedades fisicoquímicas de la materia prima, de tal forma que pueda obtenerse un alto grado de purificación de la pulpa. En general se acepta que la porción de lignina de las pulpas, representa probablemente el sitio de los llamados grupos cromofóricos o lo que es lo mismo de color. La lignina posee un gran número de grupos fenólicos tanto en forma libre como eterificada, es por esto que es fácil suponer que la acción de un grupo oxidativo en algún tipo de proceso puede convertir a los grupos cromóforos en sustancias del tipo de la quinona que absorben la luz visible.

Existen dos procedimientos obvios para blanquear el color de las pulpas; se pueden usar agentes selectivos de blanqueo que destruyan al menos, una parte de los grupos cromofóricos sin ser materialmente consumidos por el cuerpo de la lignina. El otro procedimiento es una combinación de blanqueo en sí y una eliminación total o por lo menos casi total de la lignina, como se lleva a cabo en las pulpas al sulfito Kraft y a la sosa, que contienen solo una cantidad relativamente pequeña de lignina residual.

Para producir pulpas de alta calidad para papel se deben usar métodos de blanqueo del tipo de la deslignificación. En sí, los agentes blanqueadores pueden ser divididos en dos clases generales: oxidantes y reductores. Entre los oxidantes podemos mencionar a los hipocloritos, cloritos, permanganatos, peróxidos, dióxido de cloro y cloro elemental entre otros, los cuales son efectivos para el blanqueo de pulpa. Sin embargo por razones de costo y reacciones secundarias indeseables, la industria del papel está limitada al uso del cloro en algunas de sus formas y a algunos peróxidos. En el caso de los blanqueadores que están formados en base a cloro, su poder blanqueador radica intrínsecamente con el cloro activo libre, que se define como el poder oxidante de un agente blanqueador expresado en términos de cloro elemental; a manera de ejemplo, el cloro líquido posee un 100% de cloro activo libre.

Entre los agentes reductores usados para este fin, tenemos: dióxido de azufre, sulfito de sodio y calcio, bisulfito de magnesio e hidrosulfito entre otros, siendo el de zinc uno de los más poderosos reductores.

El método convencional para el proceso Kraft y al sulfito, consta de tres etapas, a saber:

- 1) Cloración en medio ácido (pH de 2 a 4).
- 2) Extracción alcalina.
- 3) Blanqueo con hipoclorito en solución alcalina (pH de 9 a 10).

Mediante este proceso se pueden obtener valores de blancura muy altos sin debilitar las propiedades de resistencia de la pulpa.

Anteriormente se blanqueaban las pulpas al sulfito directamente en un paso por tratamiento de hipoclorito pero este proceso resultó desventajoso desde el punto de vista de economía de cloro así como por producir una pulpa de baja resistencia. La velocidad del blanqueo con hipoclorito es máxima en soluciones neutras y muy lentas en zonas de pH mayor a 12.

CONDICIONES GENERALES PARA EL BLANQUEO CON HIPOCLORITO

Adición de reactivos:

En un solo paso	5% como Cl ₂ disponible.
En varios pasos	2% como Cl ₂ disponible.
Consistencia:	5 - 18%.
pH:	9.0
Temperatura:	
A baja consistencia	38 - 50°C.
A alta consistencia	35°C.
Tiempo:	2 - 8 hrs.

JUSTIFICACION

El presente anteproyecto fue seleccionado tomando en cuenta el gran mercado potencial que tiene este producto ya que es uno de los mejores, más económicos y más comunmente usados en la industria papelerá nacional, así como la factibilidad de comercializar el agua ultrapura que resulta como subproducto en la manufactura del hipoclorito.

Lo anterior se debe a que otros tipos de blanqueadores presentan problemas en el proceso de blanqueo. Como un claro ejemplo de lo anterior tenemos al hipoclorito de calcio, que aún siendo un buen blanqueador tiene como desventajas el dejar depositaciones o cargas en la fibra blanqueada, afectando así la calidad del papel puesto que debilita la resistencia mecánica de la fibra; aunado a lo anterior la materia prima a partir de la cual se produce el hipoclorito de calcio, hidróxido de calcio (Ca(OH)_2) sufre reacciones con la humedad por lo que se requiere un cuidadoso manejo de la misma. Otro blanqueador muy utilizado hoy en día en países altamente industrializados es el ClO_2 (dióxido de cloro); sin embargo el proceso de fabricación de este reactivo es sumamente riesgoso pues es un material altamente tóxico y explosivo al ponerse en contacto con sustancias fácilmente oxidables como pueden ser los azúcares, lo cual limita enormemente la utilidad de este blanqueador para el tratamiento de bagazo de caña.

Otra ventaja de este anteproyecto, es que traería grandes beneficios a las plantas procesadoras de celulosa así como a la comunidad donde se localizara la planta proporcionando fuentes de trabajo e incluso se podría evaluar la posibilidad de que una planta de esta naturaleza se acoplara como parte integral de una industria papelerera, lo que traería como consecuencia el que la planta procesadora de celulosa se volviera autosuficiente en lo que al blanqueador se refiere.

Adicionalmente, un aumento en la producción nacional de hipoclorito de sodio provocaría una disminución en las importaciones de este producto, que para el año de 1989 fue de 50 toneladas y se espera que este número vaya en aumento como podrá observarse posteriormente en el estudio de mercado.

PRINCIPALES USOS Y PROPIEDADES

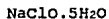
HIPOCLORITO DE SODIO:

El hipoclorito de sodio se obtiene fundamentalmente de dos fuentes, una como subproducto de la licuación de cloro gaseoso y la otra por medio de la cloración de sosa ya sea por medios electroquímicos o por cloración directa, que dado el crecimiento del mercado, ha originado la instalación de plantas productoras, dedicadas a este fin.

El hipoclorito de sodio en solución es un líquido transparente de color amarillo verdoso, el cual, dependiendo de la concentración a la que se encuentre será más claro o más oscuro. Esta solución posee un débil olor a cloro, debido a que se encuentra en forma iónica (el hipoclorito en solución desprende cloro).

La solución hipoclorítica es altamente fotosensible, por lo que debe estar resguardada de la luz.

En la naturaleza se le puede encontrar en estado sólido, en forma de una sal pentahidratada cuya fórmula química es:

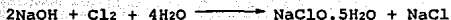


Peso molecular de la sal es 166.53 g/gmol.

Constitución química:

Na	13.97%
Cl	21.55%
O	58.35%
H	6.13%
H ₂ O	54.75%

Esta sal se prepara mediante la reacción:



En forma cristalina es altamente inestable teniendo un punto de fusión de 18°C a una presión de una atmósfera. Se descompone fácilmente con el CO₂ del aire.

El hipoclorito de sodio anhidro se puede obtener a partir de la deshidratación de la sal pentahidratada con ácido sulfúrico concentrado o por congelación al vacío. Esta sal es sumamente inestable y altamente explosiva. Sin embargo esta sal en solución acuosa se ve incrementada en su estabilidad enormemente.

SEGMENTOS DE MERCADO Y PRINCIPALES USOS:

- Fabricación de papel de celulosa.
- Fabricación de blanqueadores de uso doméstico.
- Potabilización de agua.
- Sanitización en industria alimenticia.
(debido a su capacidad bactericida)
- Tratamiento de agua en albercas.
- Detergentes y jabones, procesos químicos y de blanqueo en general así como industria farmacéutica. El poder germicida de una solución de hipoclorito que contenga un 10% en peso de cloro libre es 21 veces más efectiva que la de una solución fenólica.

El hipoclorito de sodio comercial se produce generalmente en dos concentraciones, entre las que tenemos, para el blanqueador de tipo casero que es el que se usa para lavandería con 5.25% en peso de hipoclorito de sodio y el tipo industrial que contiene 150 g/l de cloro disponible, lo que es equivalente a 13.03% en peso de hipoclorito de sodio.

INFORMACION GENERAL

INGREDIENTES PELIGROSOS:

COMPONENTE 1.- Cloro: 7 a 9% en peso.

TLV = 1 ppm = 3 mg/m³.

COMPONENTE 2.- Hidróxido de sodio: 0.1-0.3% en peso.

TLV = 2 mg/m³.

PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS:

NOMBRE QUIMICO : Hipoclorito de sodio.

TEMPERATURA DE FUSION : No establecido.

TEMPERATURA DE EBULLICION : 110°C solución al 15% en peso.

INFLAMABILIDAD : La solución no es flamable.

pH : aprox. 12.

ESTADO FISICO NATURAL : Sólido.

ESTADO FISICO DE TRANSPORTE : Líquido.

REACTIVIDAD CON AGUA : No en frío.

APARIENCIA FISICA Y OLOR : Solución verde clara con olor picante como el cloro.

PRESION DE VAPOR: Vapor de agua más productos de descomposición.

SOLUBILIDAD EN AGUA : 0.26 g/ml a 0°C.

MATERIALES INCOMPATIBLES : Agentes reductores, compuestos orgánicos, metales pesados como níquel, cobalto, cobre y hierro.

CONDICIONES A EVITAR : Calentamiento, luz directa, decremento de pH y contaminación con metales pesados.

PELIGROS A LA SALUD :

INHALACION : Los vapores son irritantes para las membranas mucosas.

CONTACTO CON LA PIEL : Provoca enrojecimiento y daño.

CONTACTO OCULAR : Provoca severa irritación.

INGESTION : Causa irritación de las membranas, boca, tracto, provoca dolor de estómago y posible ulceración.

DOSIS LETAL : Por ingestión para solución:

del 5 al 25% = 13 g/Kg de peso corporal.

MEDIDAS DE CONTROL Y PROTECCION ESPECIAL :

Almacenarse en lugares cerrados, limpios, frescos, secos en contenedores resistentes y alejados de la luz solar y materiales con los que pueda reaccionar.

EQUIPO DE PROTECCION :

- Mascarilla de protección respiratoria para vapores de tipo ácido.
- Goggles.
- Guantes de hule.
- Zapatos de hule.
- Equipo contra corrosivos.

Otros nombres que recibe una solución hipocloritica son:

licor de Labarraque.

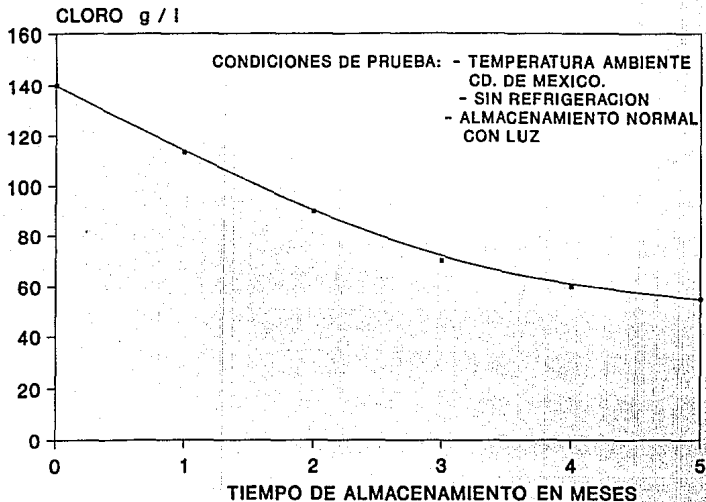
Agua de Javel.

Clorox.

Dazzle.

Diversol.

ESTABILIDAD DEL HIPOCLORITO DE SODIO EN ALMACENAMIENTO



DATOS OBTENIDOS DE PENNWALT

GENERALIDADES DE LAS MATERIAS PRIMAS

CLORURO DE SODIO:

El cloruro de sodio es un compuesto que se encuentra normalmente en la naturaleza en forma cristalina, como sal gema, halita o en solución tanto en pozos salinos a diferentes concentraciones dependiendo de la zona donde se encuentren, así como en todos los océanos, mares, esteros, mares interiores, ríos y en general en cualquier volumen grande de agua en el planeta encontraremos disueltas cantidades dadas de cloruro de sodio.

Peso Molecular	58.50 g/gmol
Constitución química:	Na 39.34%
	Cl 60.66%

El cloruro de sodio es obtenido por medio de evaporación de salmueras (soluciones de NaCl en agua), pero también se puede obtener en minas. En general se tiene el cloruro de sodio en cristales, granos o polvo blanco; incoloro, transparente o translúcido, dependiendo del cristal.

La sal comercial, comunmente, contiene algo de cloruros de calcio y magnesio los cuales tienen la propiedad de absorber humedad del medio ambiente y formar una pasta, es decir, son higroscópicos.

Temperatura de fusión	800.4°C
-----------------------	---------

Comienza a volatilizarse a una temperatura ligeramente mayor a la de fusión.

Un gramo se disuelve en 2.8 ml de agua a 25°C y en 2.6 ml de agua hirviendo, mientras que se requieren 10 ml de glicerol

para su disolución; es muy poco soluble en alcohol. Su solubilidad en agua disminuye por la adición de ácido clorhídrico y es casi completamente insoluble en ácido clorhídrico concentrado. Su solución acuosa es neutra variando en un rango de pH de 6.7 a 7.3.

Densidad de una solución acuosa saturada

25°C 1.202 g/ml

Temperatura de congelamiento de una solución acuosa al 23% es de -20.5°C.

Dosis letal media en ratas (DL50) 2.5 g/Kg

USOS:

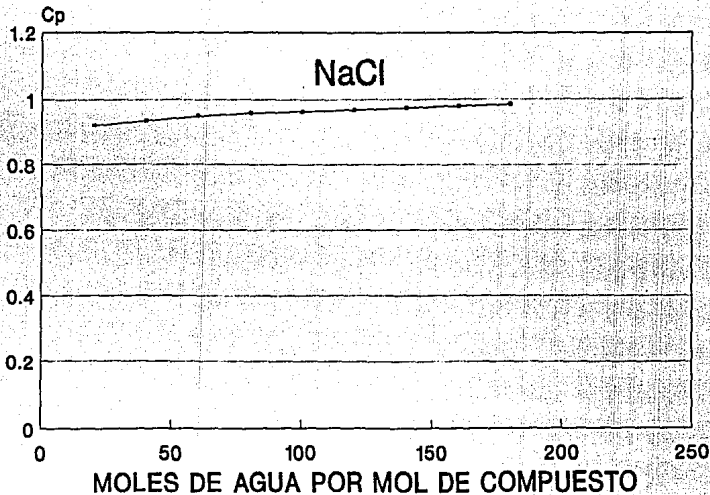
La sal natural es la fuente de obtención del cloro y del sodio así como de prácticamente de todos sus compuestos; ácido clorhídrico, cloratos, cloritos, carbonato de sodio, hidróxidos, etc. Se usa también para preservar alimentos, en la manufactura de jabón, en la metalurgia de la hojalata y otros metales.

Es ampliamente usada en medicina, como hemético, para lesiones inflamatorias, en constipación de enemas en forma de solución tópica. La toxicidad en el hombre puede ser causada por ingestión de cantidades excesivas por cualquier vía provocando hipopotasemia y acidosis. Un exceso en la ingestión puede producir edema pulmonar y fallas cardíacas, especialmente en pacientes con problemas cardiovasculares. Una dosis oral alta puede causar náusea, vómito y diarrea.

Gravedad específica	2.163
Punto de ebullición	1413°C
Índice de refracción	1.5443

PROPIEDADES DE CLORURO DE SODIO

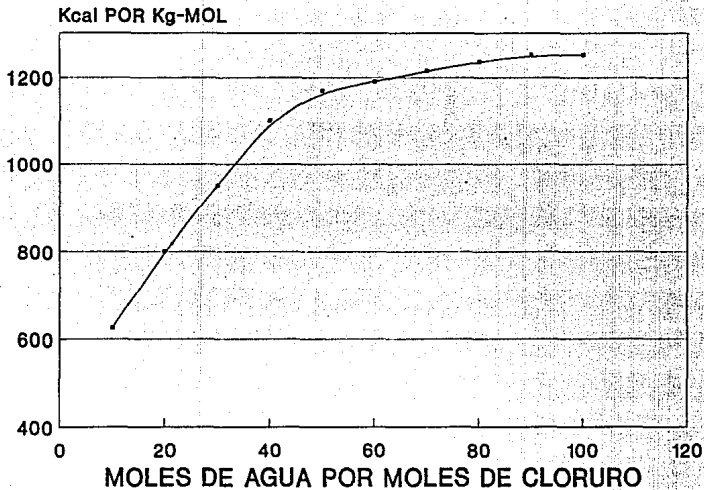
C_p DE SOLUCIONES ACUOSAS DE CLORUROS



CHEMICAL ENGINEERS HANDBOOK (PERRY)

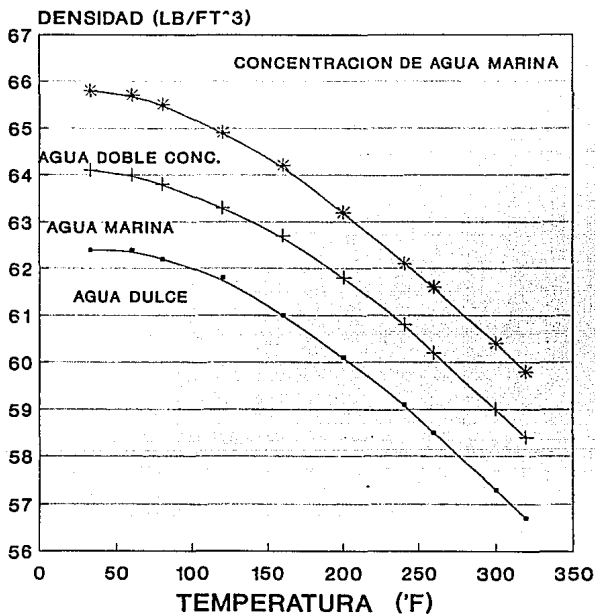
PROPIEDADES DE CLORURO DE SODIO

CALORES INTEGRALES DE SOLUCION



CHEMICAL ENGINEERS HANDBOOK (PERRY)

PROPIEDADES DE AGUA DE MAR DENSIDAD

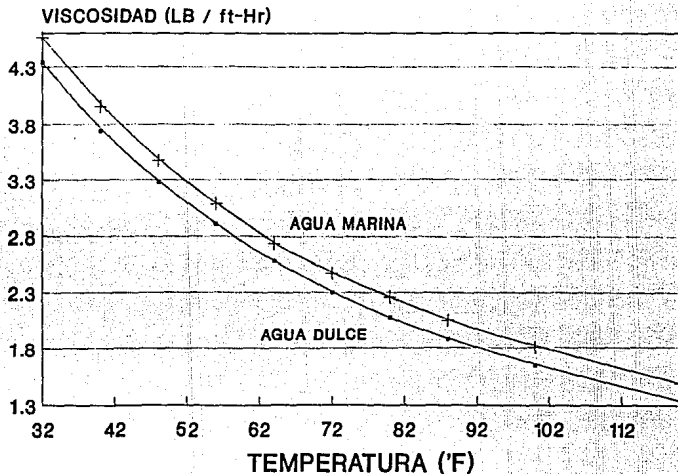


REDFIELD, A.C., CHARACTERISTICS OF
SEA WATER

CONC. : 34.483 g / Kg AGUA DE MAR

PROPIEDADES DEL AGUA DE MAR

VISCOSIDAD

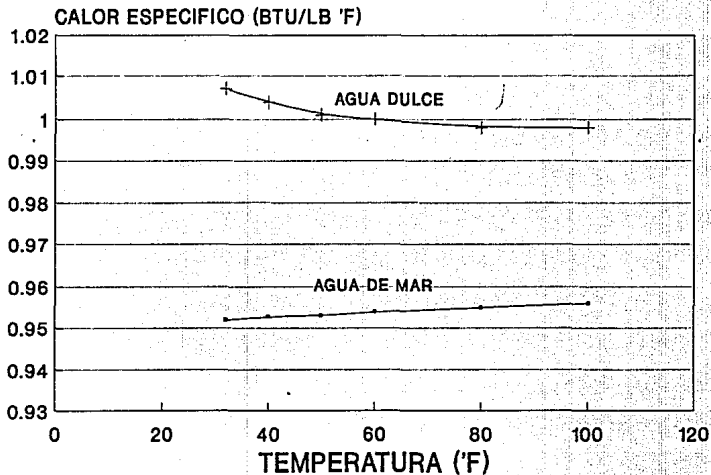


DORSEY, N.E., PROPERTIES OF ORDINARY
WATER-SUBSTANCE

CONC.: 34.483 g / Kg AGUA DE MAR

PROPIEDADES DEL AGUA DE MAR

CALORES ESPECIFICOS

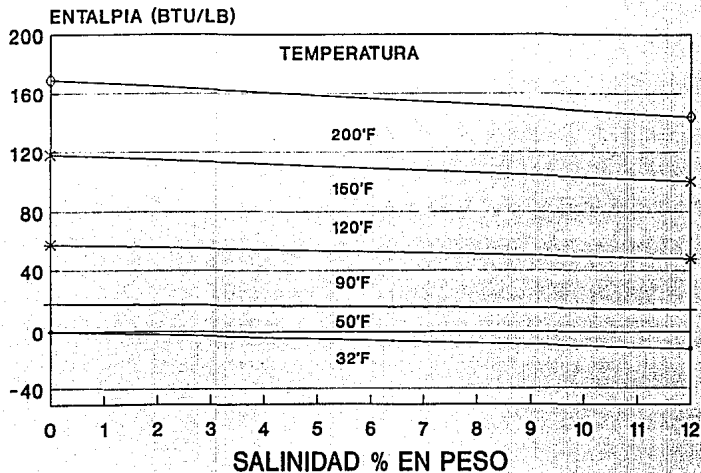


COX, R.A. & SMITH, N.D., PROC. ROY. SOC.

NOTA: LA CONCENTRACION ES DE 34.483 g
DE SOLIDOS POR CADA Kg DE AGUA DE MAR

PROPIEDADES DEL AGUA DE MAR

ENTALPIA



BRENLEY, L.A. et al.
J. CAB. ENG. DATA

CONC.: 34.485 g / Kg DE AGUA DE MAR

PRODUCTORES DE HIPOCLORITO DE SODIO A NIVEL NACIONAL

Los productores son:

Celulosa y derivados.
Ciclómeros.
Industria Química del Istmo.
Pennwalt.
Plasticlor.

Algunos de los principales distribuidores a nivel nacional son:

-Abaquím.	-Alcalis y Soluciones.
-Alquem de México.	-Amonal Química Regiomontana.
-Auresa Química.	-Compañía Quím. Ind Neumann.
-Comercial Química Mexicana.	-Diquímex.
-Droguería Cosmopolita.	-Industrias Alquimia.
-Lagrom Química.	-Materias Primas.
-Producción de Químicos Básicos.	-Productos Químicos Arango.
-Productos Químicos Madrupol.	-Productos Químicos Mecva.
-Química Henkel.	-Química Hermes.
-Quimivan.	-Transform. Quím Mexicana.
-Watson Phillips y Cia.	

La mayoría de estos productores y distribuidores se encuentran localizados en las cercanías del D.F., Monterrey, y el estado de Jalisco.

PRINCIPALES METODOS DE PRODUCCION

PROCESOS EXISTENTES:

Para la fabricación del hipoclorito de sodio a nivel industrial, existen basicamente dos tipos diferentes de procesos, con algunas variantes dentro de cada uno de ellos.

Se pueden clasificar como:

- a) Procesos Electroquímicos.
- b) Procesos por Cloración de Sosa.

Procesos Electroquímicos

A) Producción de hipoclorito de sodio a partir de salmueras mediante el uso de celdas electrolíticas con electrodos coaxiales.¹

El proceso consta de una celda electrolítica conteniendo 2 o más tubos coaxiales de titanio. Dentro de uno de ellos se encuentra una varilla en forma de espiral, no conductora, de un grosor y un largo adecuado. Esta varilla toca la superficie externa del tubo catódico interno y la superficie interna del tubo anódico externo. Esta espiral forma un canal por donde pasa el electrolito aprovechando así la máxima área disponible de ambos electrodos a la vez que mejora el tiempo de contacto entre estos últimos y el electrolito. La celda contiene un bloque acondicionado con una válvula, la cual controla la

¹Sermbezis, Athanasius. Brit. U.K. pat. Appl. G.B. 2,786,596 (Cl. C25B9/00).
19 August 1987. Appl. 86/3,618, 14 Feb. 1986
7 pp.

concentración que debe tener la salmuera. Los electrodos tubulares están adaptados con sensores de temperatura.

B) Método electrolítico para producir hipoclorito de sodio en solución.²

El NaCl es convertido en hipoclorito de sodio en una celda electrolítica, la cual contiene uno o más ánodos (p. ej. Titanio recubierto con óxido de rutenio) y uno o más cátodos (p. ej. Níquel esponjoso) y una membrana aniónica. Este método es útil para producir soluciones diluidas de hipoclorito de sodio a partir de soluciones acuosas de NaCl con concentraciones menores a 0.5 g/l.

C) Manufactura de hipoclorito de sodio.³

Una aplicación para fabricar hipoclorito de sodio que comprende un recipiente para contener un volumen constante de salmuera. Una cámara provista por electrodos, colocados por debajo del nivel del líquido del recipiente; Una tubería que conecta el recipiente con la cámara para transportar el cloruro de sodio y una tubería de salida para desalojar el hipoclorito de sodio formado. El NaCl que entra a la cámara, se electroliza para producir hipoclorito de sodio y el hidrógeno que se produce en el ánodo acarrea al hipoclorito de sodio fuera de la cámara.

²Devynck, Jean Michel; Telliez, Emil (Compagnie Generale de Chauffle).

Fr. Demande FR 2,574,094 (Cl. C25B1/26).

6 Junio 1986, Appl 84/18,376, 3 Diciembre 1984.

7 pp.

³Kurihara, Hisamune. Jpn. Kokai Tokkyo Kotto.

JP 61,101,403 [86,101,403] (Cl. C01B11/06).

20 Mayo 1986. Appl 84-223,765, 24 Octubre 1984.

4 pp.

Este método produce hipoclorito de sodio de concentración constante.

D) Celdas electrolíticas.⁴

Esta celda está especializada en electrólisis de salmuera y es operada de tal forma que se prevenga la depositación en los electrodos debido a la precipitación de las sales de calcio y de magnesio. La celda cuenta con un ánodo de platino revestido con titanio y por lo menos dos electrodos subsidiarios de TiO_x donde $x = 1.55 - 1.9$.

Estos electrodos pueden actuar ya sea como cátodo o como ánodo; cuando funcionan como ánodo se genera ácido localmente, de tal forma que se remueven las depositaciones formadas cuando hayan funcionado como cátodo. La salmuera se electroliza para formar el hipoclorito de sodio.

E) Celdas para electrólisis de aguas marinas.⁵

Se describe una celda la cual fue diseñada para minimizar o prevenir la depositación de precipitados en el cátodo, especialmente en las orillas y en las puntas terminales de los electrodos.

⁴Hayfield, Peter Charles Steele, Scholes, Jean Robert; Richards, Peter Neville.
I.M.I. Manston Ltd. Brit. U.K. pat.
Appl GB 2,113,718 (Cl. C25B11/10) 10 Agosto 1983
GB Appl 82/2,182, 26 Junio 1982.

8 pp.

⁵Chlorine Engineers Corp. Ltd.
Indian IN 150,742 (Cl. B01K1/00), 4 Diciembre 1982.
Appl 79/CAB, 3 Junio 1979.
21 pp.

El agua marina se electroliza directamente en una celda, la cual consta de una entrada en la parte superior para permitir la entrada de agua salada y una en el fondo de la celda para permitir el flujo de salida del agua electrolizada. Varios ánodos y cátodos se colocan verticalmente, colocando el cátodo (de mayor superficie) en forma paralela al flujo de entrada. La separación entre los electrodos es entre 2 y 5 mm y una corriente de 3.5 a 5.5 Volts de 5-20 y 5-30 Amperes por dm^2 se mantiene en el ánodo y cátodo respectivamente. Los cátodos son de titanio y los ánodos de titanio recubierto con óxido de rutenio u óxido de titanio. No se aprecia ninguna depositación.

F) Proceso comercial.

Este proceso se basa en la electrólisis de soluciones acuosas de NaCl (salmueras). Se permite en la electrólisis que se lleve a cabo una cadena de reacciones consecutivas para poder llegar a la obtención de NaClO en vez de parar la reacción mediante la separación de los productos de la primera reacción electrolítica, (Cl_2 y NaOH).

Se debe usar una solución neutra de salmuera para evitar la formación de ácido hipocloroso, el cual descompone el hipoclorito. Se recomienda la adición de cromato de potasio o de aceite rojo de Turquía en presencia de sal de calcio, evitando que el hidrógeno desprendido en uno de los electrodos descomponga al hipoclorito en clorato, formando una capa sobre dicho electrodo. Sin embargo para el caso del hipoclorito de

sodio blanqueador el cromato de potasio se descarta debido a su alto poder colorante.

La celda debe estar operada a baja temperatura y nunca mayor de 40°C.

La Compañía Electroquímica es la manufacturera de varios tipos de celdas para la fabricación de NaClO con diferentes tamaños y capacidades. Los electrodos están hechos de grafito y tienen también un gran número de electrodos intermediarios. La salmuera está hecha a una concentración de 60 g de NaCl/litro, la cual entra con un flujo de 50 gal/hora, y a una temperatura de 16°C; abandona la celda a una temperatura ligeramente mayor a 40°C con 6-7 g Cl activo por litro.

La fuerza electromotriz es de 110 volts de corriente directa entregando cerca de 35 amperes a la celda.

G) Proceso a partir de una celda tipo Kellner.

La celda Kellner es considerada una de las más eficientes. Requiere una salmuera que contenga un 15% de NaCl la cual entra por la parte superior, se agrega algo de CaCl₂ y aceite rojo de Turquía para incrementar el rendimiento. La solución pasa de un cámara a otra y despues fuera de la celda.

Se puede preparar una solución que contenga de 25 a 30 g de cloro activo por litro con un consumo de energia de 6.2 KW-Hr/Kg de cloro activo y una solución de 90 g de Cl activo/litro con 9.3 KW-Hr/Kg.

La solución se mantiene a 21°C y se deja enfriar al salir de la celda para después recircularla hasta obtener la concentración de NaClO deseada.

PROCESOS DE CLORACION DE SOSA

I) Hipoclorito de sodio concentrado.⁶

Una solución acuosa de hipoclorito de sodio concentrada se prepara mediante la reacción de Cl₂ y NaOH en un reactor con agitación eléctrica a una temperatura de 8 a 30°C y un pH entre 8.5 y 12. El NaCl es llevado a una concentración menor de 180 g/l para evitar la saturación de la solución, la cual es enfriada para minimizar la descomposición del NaClO.

II) Preparación de hipocloritos de sodio y calcio en solución con un 10.5% de cloro activo disponible.⁷

Las soluciones preparadas por cloración de soluciones de hidróxido de sodio que contiene Ca(OH)₂ suspendido (originalmente a 95% puro, con tamaño de grano de 325 Mesh) y se concentra con H₂O a 39°C con agitación continua mediante una corriente de aire comprimido. Se lleva un monitoreo del avance de la reacción, de la sosa y del cloro activo disponible.

⁶Tberclor, S.A. Spans ES. 528,348 (Cl. C01B11/06)

1 mayo 1985, Appl 23 Diciembre 1983.

11 pp. (Patente de Importación)

⁷Andreazza, Fernando Antonio Bras. Pedido PIBR 8401,309

(Cl. C01B11/06), 5 Noviembre 1985

Appl. 84/1,309, 21 Marzo 1984

8 pp.

El proceso comienza con una solución de sosa 3.5 molar y 12% en peso seco de Ca(OH)_2 . Se obtiene una mezcla de hipocloritos que cuenta con 10.5% de cloro activo libre y 0.2% de sosa.

III) Solución acuosa de hipoclorito de sodio.⁸

Se lleva a cabo la reacción :



Un tubo de entrada para el Cl_2 es instalado por arriba del nivel del líquido, de tal forma que se prevenga la depositación del cloruro de sodio en la salida del tubo. Llevando a cabo una agitación adecuada de la solución.

Se equipó un matraz de 105 mm de diámetro y 110 mm de altura con un agitador semicircular, una boquilla de entrada para el Cl_2 de 8 mm de diámetro, se instaló a un cm por encima del nivel del líquido, y una salida para los gases.

En este matraz se trataron 700 g de una solución de sosa a 40% en peso, con Cl_2 a 57 g/hr y 30°C por un tiempo de 4.1 hr de agitación. Se obtuvieron 715 g de una solución al 29.5% en peso de hipoclorito de sodio. No se observó obstrucción alguna en el tubo alimentador de Cl_2 .

⁸Mitsui Toatsu Chemical, Inc. JPN.
Kokai Tokkyo Koho.
JP, 182,204 [84,182,204] (Cl. C01B11/06). 17 Octubre 1984
Appl. 83-49,708, 26 Marzo 1983 4 pp.

IV) Solución de hipoclorito de sodio.⁹

Se utiliza un reactor de doble tubo de tipo ciclón, se introduce Cl₂ gaseoso por el tubo interno; la solución de NaOH se alimenta en forma tangencial a la dirección del tubo externo. Ambos tubos se conectan en el fondo del reactor y salen. La descomposición del NaClO así como la formación del perclorato se controlan fácilmente y la remoción del NaCl es sencilla. Así, 26.6 toneladas de solución al 26.2% de NaClO conteniendo 7% de NaCl y 2% de NaOH fue preparada a partir de 48% de NaOH y Cl₂ a 25°C, circulando una solución que contenía 10% de sosa y 3.7 toneladas de NaCl fueron removidas. El rendimiento del cloro fue del 98%.

⁹Tokuyama, Soda Co. Ltd. JPN
Kokai Tokyo Koho
JP 5820,703 [8320,703] (Cl. C01B11/04).
7 Febrero 1983 Appl. 81/115,248 24 Julio 1981.
5 pp.

SELECCION DEL PROCESO

El proceso seleccionado para ser evaluado en este estudio será aquel proceso electroquímico a partir de una celda electrolítica tipo Kellner debido a la versatilidad que nos da el poder obtener el producto a la concentración deseada mediante la recirculación del mismo a través de la celda, adicionalmente esta celda es considerada altamente eficiente.

Este proceso nos permite utilizar salmuera que puede ser obtenida mediante un tratamiento al agua de mar reduciendo así los costos generados por materia prima ya que el agua de mar puede ser tomada directamente del mar, nos permite además tener la opción de preparar nuestra propia salmuera a la concentración requerida a partir de sal común o sal comestible libre de calcio, preparandola dentro de la misma planta requiriendo solo agua desmineralizada.

Este proceso adicionalmente nos permita el comercializar el subproducto obtenido (agua ultrapura) en el proceso de ósmosis inversa.

MERCADO POTENCIAL Y LOCALIZACION

MERCADO POTENCIAL:

La versatilidad que presenta este proyecto se debe a la posibilidad de destinar la producción tanto a satisfacer las necesidades del producto de una empresa que se dedique al blanqueo de pulpa de celulosa para la producción del papel, así como para la substitución de importaciones de este producto al país.

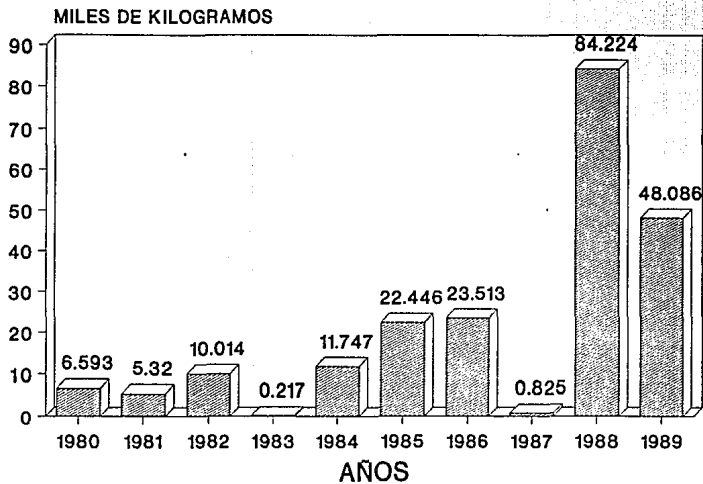
DATOS DE IMPORTACION

AÑO	VOLUMEN Kg	USD	AÑO	VOLUMEN Kg	USD
1980	6,593	\$3,333	1985	22,446	\$5,153
1981	5,320	\$9,364	1986	23,513	\$8,582
1982	10,014	\$2,453	1987	825	198
1983	217	\$ 110	1988	84,224	\$14,901
1984	11,747	\$2,288	1989	48,086	\$27,886

DATOS OBTENIDOS DE INFOTEC

NOTA: Tipo de cambio \$ 3,100.00 / Dolar

ANALISIS ECONOMICO IMPORTACIONES DE NaClO EN SOLUCION



DATOS OBTENIDOS DE INFOTEC

EL PRINCIPAL PAIS EXPORTADOR ES E.U.A.

Como se puede ver claramente en la gráfica anterior, el volumen de importaciones de hipoclorito tiende a aumentar debido a que se contempla un aumento tanto en la producción como en el consumo esperado para los diferentes tipos de celulosa dedicados a la fabricación de papel; aunque han habido años como 1983 y 1987 en que estas han disminuido debido principalmente a periodos de inestabilidad económica en el país. Esto trae como consecuencia que un proyecto de esta naturaleza adquiera relevante importancia ya que al contar con un abasto nacional de este producto todas las empresas productoras de papel se verían beneficiadas pues disminuirían los gastos de importación así como los de transportación.

Otro factor que debe ser tomado en consideración es el hecho de que la mayoría de las empresas productoras de hipoclorito de sodio en la concentración requerida para el blanqueo de pulpa de celulosa se encuentran en el Distrito Federal, Monterrey y Jalisco. Entre los productores más importantes a nivel nacional se encuentran :

Industrias Pennwalt, S.A. de C.V.

Industria Química del Istmo

Plasticlor

Ciclómeros

Celulosa y Derivados

ANÁLISIS DE DATOS SOBRE LA PRODUCCIÓN DE PAPEL

Ya que la producción de hipoclorito de sodio en solución en este análisis se considera estará destinada principalmente al

blanqueo de pulpa de celulosa, es indispensable realizar un análisis detallado de las tendencias de este mercado ya que el crecimiento o decremento de este, influirá directamente en la factibilidad económica de la realización de este proyecto. Así mismo la producción nacional de papel es otro factor primordial a considerar en este estudio económico. La tendencia de estas producciones se pueden visualizar en las gráficas que se muestran a continuación.

Las gráficas muestran la fabricación de celulosa a partir de :

- Madera blanqueada.
- Plantas anuales blanqueadas (Bagazo de caña y algodón).
- Pasta mecánica blanqueada.
- Celulosa química de madera blanqueada al sulfato.

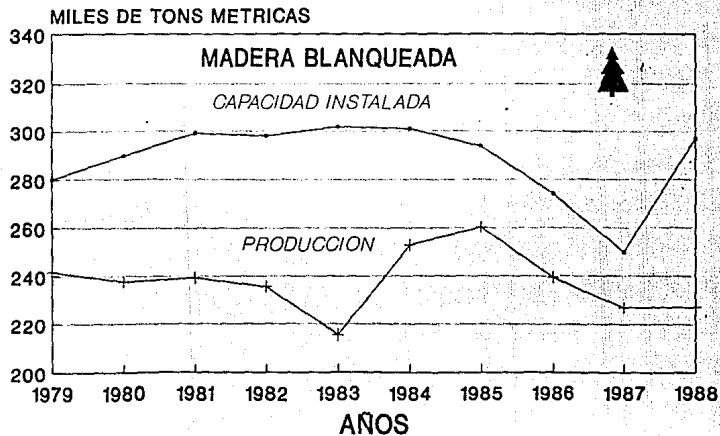
Para las gráficas de madera y plantas anuales blanqueadas podemos observar una tendencia lineal, aunque en algunos años se puede ver como la situación económica del país afecto a esta industria; ejemplo de esto es el decremento en la producción que se tuvo entre los años de 1982 a 1983 y de 1985 a 1987. Sin embargo por lo que respecta a la pasta mecánica blanqueada al hipoclorito se puede ver una tendencia a la alza en una forma clara, de lo que se deduce que esta fuente de pulpa de celulosa se encuentra en auge y se puede esperar que siga en constante crecimiento.

Analizando la gráfica de producción total de celulosa a nivel nacional se deslinda la apreciación del incremento en la

producción, siendo el principal responsable de este aumento el correspondiente a la pasta mecánica que año con año ha presentado aumentos significativos.

Como se aprecia en las gráficas la capacidad instalada es superior a la producción, lo que nos indica que puede existir aún un crecimiento en la producción con el mismo número de industrias que existen actualmente.

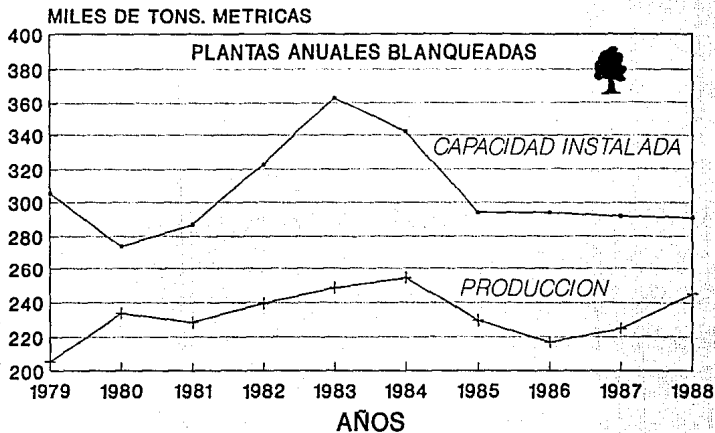
FABRICACION DE CELULOSA EN EL PAIS ! APROVECHAMIENTO DE LA CAPACIDAD INSTALADA



DATOS OBTENIDOS DE LA CAMARA NACIONAL
DE LA INDUSTRIA DE LA CELULOSA Y PAPEL

MADERA BLANQUEADA

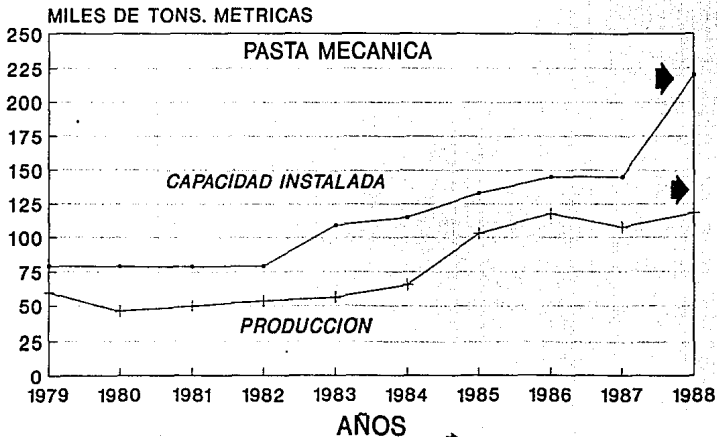
FABRICACION DE CELULOSA EN EL PAIS APROVECHAMIENTO DE LA CAPACIDAD INSATALADA



DATOS OBTENIDOS DE LA CAMARA NACIONAL
DE LA INDUSTRIA DE LA CELULOSA Y PAPEL

PLANTAS ANUALES BLANQUEADAS

FABRICACION DE CELULOSA EN EL PAIS APROVECHAMIENTO DE LA CAPACIDAD INSTALADA

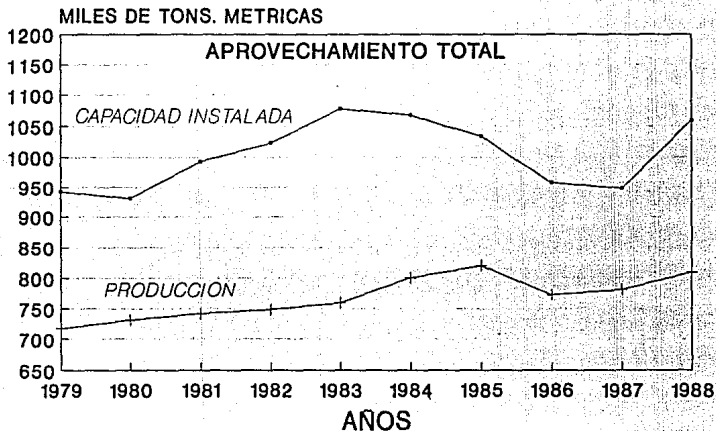


DATOS OBTENIDOS DE LA CAMARA NACIONAL
DE LA INDUSTRIA DE LA CELULOSA Y PAPEL

➤ INCLUYE PASTA TERMOQUIMICA
Y GUIMICO TERMOMECANICA

PASTA MECANICA

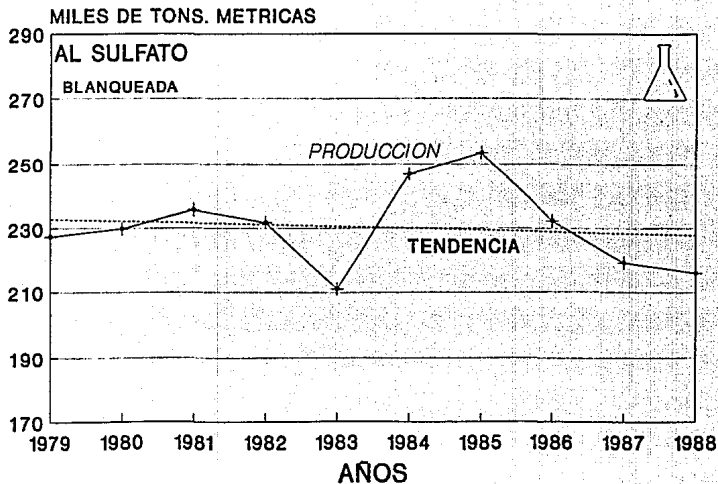
FABRICACION DE CELULOSA EN EL PAIS APROVECHAMIENTO DE LA CAPACIDAD INSTALADA



DATOS OBTENIDOS DE LA CAMARA NACIONAL
DE LA INDUSTRIA DE LA CELULOSA Y PAPEL

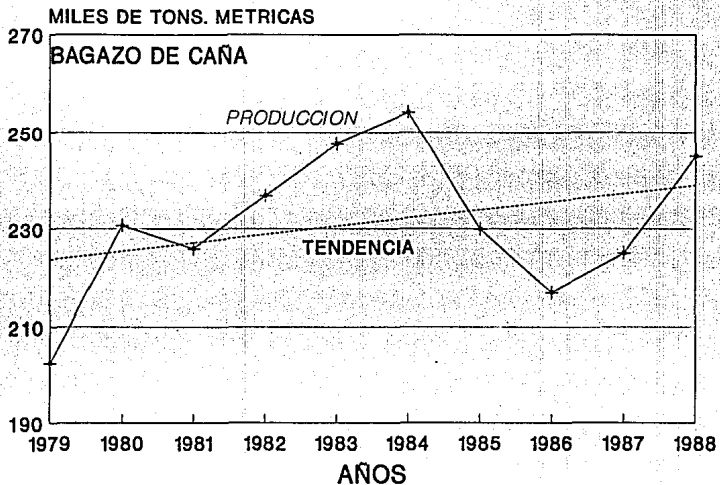
APROVECHAMIENTO TOTAL

PRODUCCION DE CELULOSA QUIMICA DE MADERA ANALISIS HISTORICO



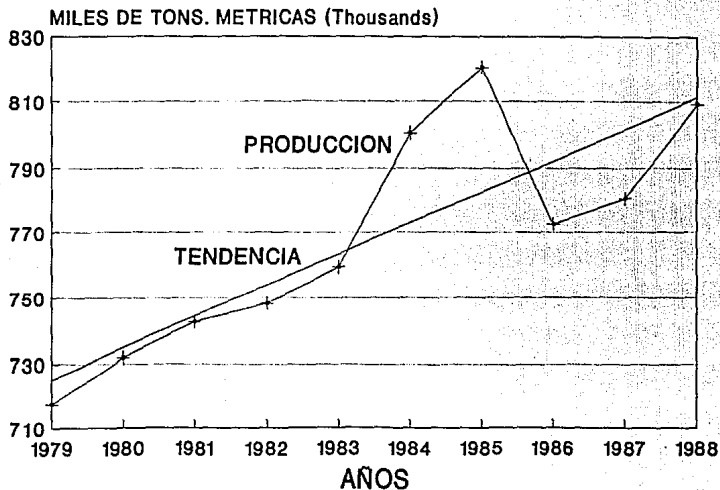
FUENTE : DATOS DE LAS FABRICAS Y
C.N.I.C.P.

ANALISIS HISTORICO DE LA PRODUCCION CELULOSA QUIMICA DE PLANTAS ANUALES



FUENTE :DATOS DE LAS FABRICAS Y
C.N.I.C.P.

PRODUCCION TOTAL DE CELULOSA



INDICE DE CRECIMIENTO COMPUESTO
DE 1979-1988 1.3 %

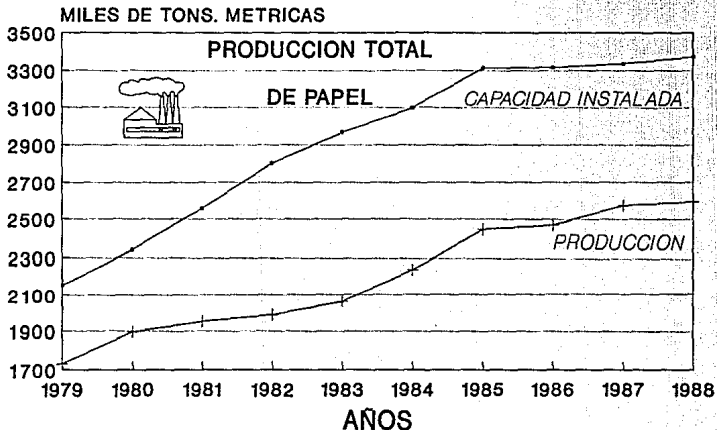
DATOS OBTENIDOS DE LAS FABRICAS

PRODUCCION DE PAPEL A NIVEL NACIONAL

De la gráfica que a continuación se presenta, se observa el importante crecimiento que se ha obtenido en México en lo que a producción de papel respecta, redundando en un consumo mayor de hipoclorito de sodio para el blanqueo de este papel. Por lo anterior es obvio que una planta productora de hipoclorito de sodio en la concentración requerida beneficiaría directamente a la industria papelera satisfaciendo las necesidades internas de producción de papel que requiere haya sido blanqueado.

Cabe recalcar que el uso normal de hipoclorito de sodio por tonelada de pulpa a blanquear teniendo el hipoclorito una concentración del 15% es de alrededor de 234 lt, este requerimiento varía obviamente con la concentración del hipoclorito ya que está basado el cálculo en el cloro activo libre que presenta el agente blanqueador, en este caso el hipoclorito de sodio.

FABRICACION DE PAPEL EN EL PAIS APROVECHAMIENTO DE LA CAPACIDAD INSTALADA

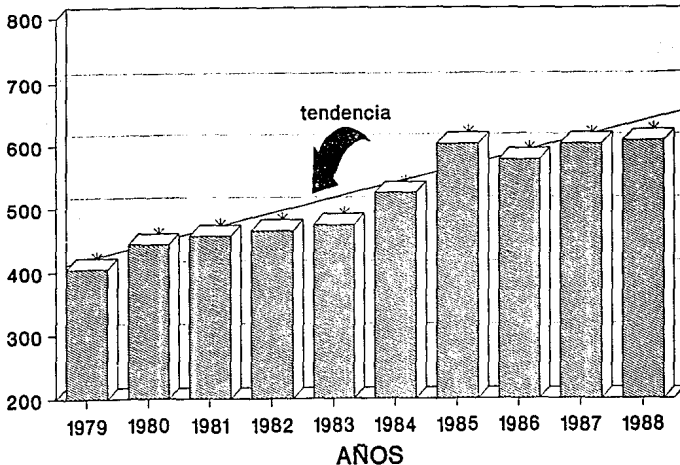


DATOS OBTENIDOS DE LA CAMARA NACIONAL
DE LA INDUSTRIA DE LA CELULOSA Y PAPEL

PRODUCCION TOTAL DE PAPEL

CONSUMO DE SOLUCION DE HIPOCLORITO 15% EN BASE A PRODUCCION TOTAL DE PAPEL

MM DE LITROS DE SOL. 15%



PROYECCIONES A FUTURO

En las gráficas siguientes se encuentra representado el consumo esperado del producto específico, capacidad instalada y posibilidad de producción para:

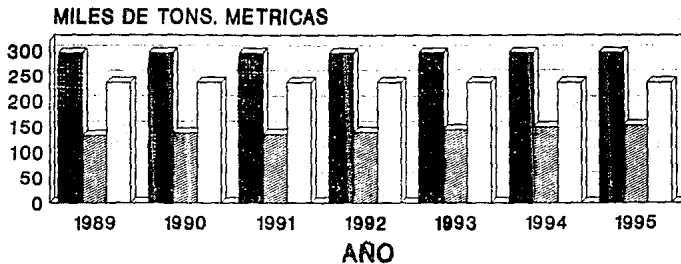
- Pasta mecánica de madera
- Celulosa química de plantas anuales
- Celulosa química de madera

Para la pasta mecánica de madera se observó que se duplicó la producción de 1988 a 1989, observándose disminuciones en los consumos de celulosa química de plantas anuales lo que puede ser un indicativo de la industria papelería a moverse hacia esta materia prima y la tendencia se mantendrá constante según la C.N.I.C. y P. En las dos últimas podemos observar que se espera un crecimiento para capacidad, producción y consumo según información obtenida de la Cámara Nacional de la Industria de la Celulosa y el Papel.

El crecimiento pronosticado para la producción para la celulosa química de plantas anuales es de casi el 10% para un lapso de 4 años mientras que el de celulosa química de madera es de casi 8% en el mismo lapso de tiempo.

Analizando las tendencias en conjunto, se espera un crecimiento en la producción total de un 15.84% en el lapso de 1990 a 1995. Lo que nos lleva a concluir que el proyecto que se plantea, tomando en cuenta el mercado en sí sí es viable.

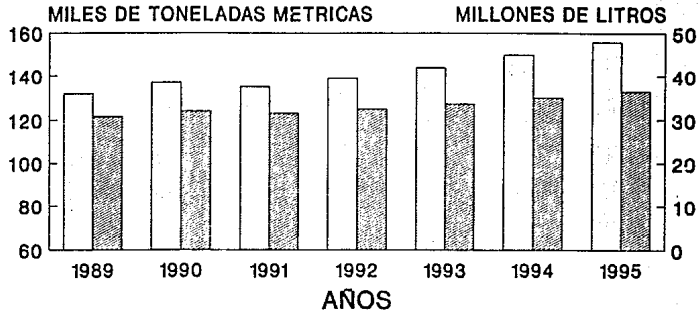
PROYECCION A FUTURO CAPACIDAD INSTALADA, CONSUMO Y PRODUCCION ESPERADA



LOS CONSUMOS DE 1991 A 1995 SON LAS
NECESIDADES DE FIBRA VIRGEN PARA
SATISFACER EL CONSUMO INTERNO DE PAPEL

DATOS OBTENIDOS DE
LA C.N.I.C. Y P.

PROYECCIONES A FUTURO CONSUMO ESPERADO DE NaClO EN SOLUCION AL 15 %



PASTA MECANICA



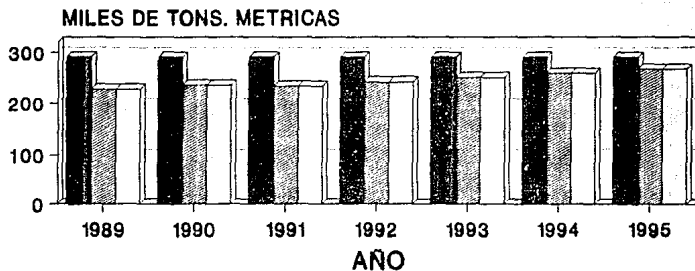
CONSUMO ESPERADO



CONSUMO DE NaClO

FACTOR UTILIZADO :
0.234 L NaClO (15%) / Kg PULPA STD

PROYECCION A FUTURO CAPACIDAD INSTALADA, CONSUMO Y PRODUCCION DE CELULOSA Y PASTAS



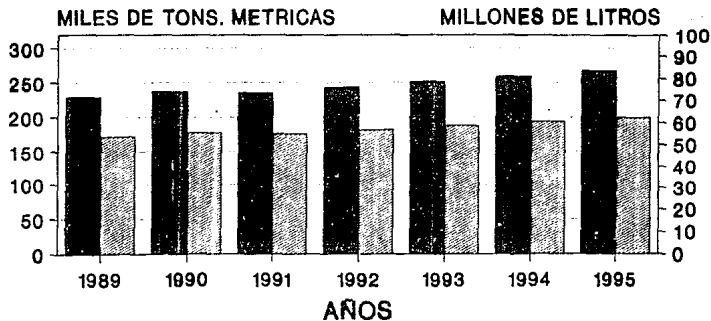
CELULOSA QUIMICA



LOS CONSUMOS DE 1991 A 1995 SON LAS
NECESIDADES DE FIBRA VIRGEN PARA
SATISFACER EL CONSUMO INTERNO DE PAPEL

DATOS OBTENIDOS DE
LA C.N.I.C. Y P.

PROYECCION A FUTURO CONSUMO ESPERADO DE NaClO EN SOLUCION AL 15 %



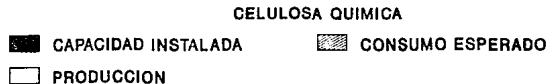
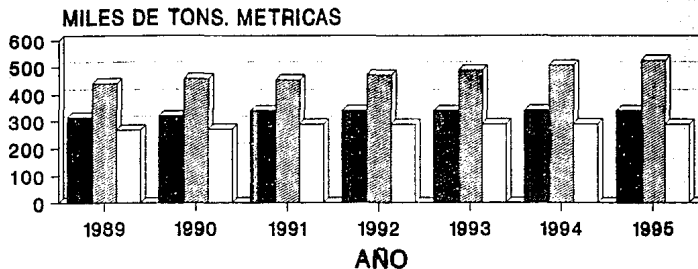
CELULOSA QUIMICA

CONSUMO ESPERADO
 CONSUMO DE NaClO

PLANTAS ANUALES

FACTOR UTILIZADO :
0.234 L DE NaClO (15%) / Kg PULPA STD.

PROYECCIONES A FUTURO CAPACIDAD INSTALADA, CONSUMO Y POSIBILIDAD DE PRODUCCION

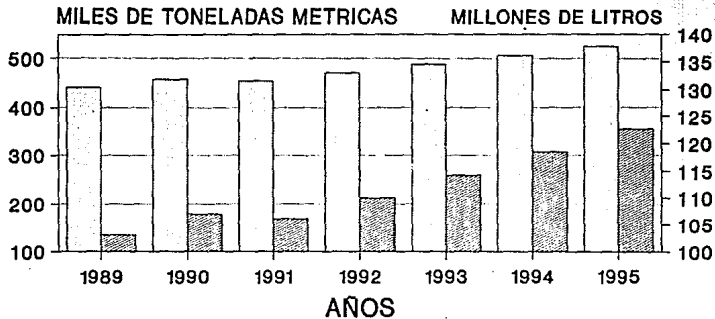


CELULOSA DE MADERA

LOS CONSUMOS DE 1991 A 1995 SON LAS
NECESIDADES DE FIBRA VIRGEN PARA
SATISFACER EL CONSUMO INTERNO DE PAPEL

DATOS OBTENIDOS DE
LA C.N.I.C. Y P.

PROYECCIONES A FUTURO CONSUMO ESPERADO DE NaClO EN SOLUCION AL 15 %



CELULOSA QUIMICA



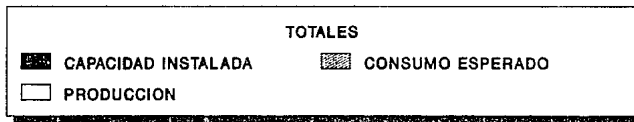
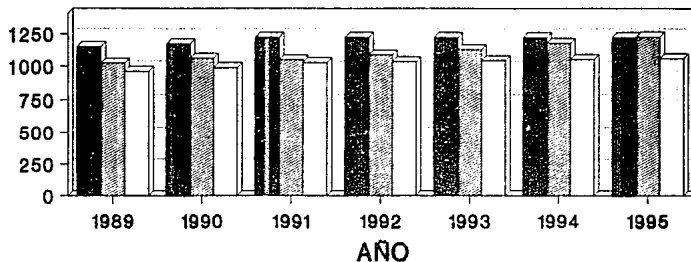
CONSUMO ESPERADO



CONSUMO DE NaClO

FACTOR UTILIZADO :
0.234 L DE NaClO (15%) / Kg PULPA STD.

PROYECCIONES A FUTURO CAPACIDAD INSTALADA, CONSUMO Y POSIBILIDAD DE PRODUCCION

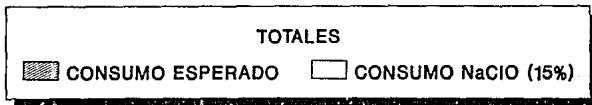
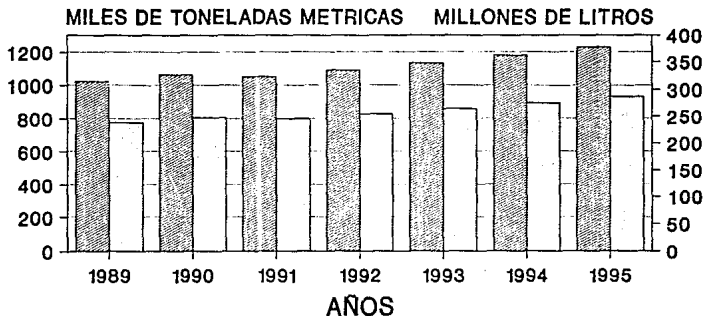


INDICE DE CRECIMIENTO COMPUESTO 90-95 DE 0,1

LOS CONSUMOS DE 1989 A 1995 SON LAS
NECESIDADES DE FIBRA VIRGEN PARA
SATISFACER EL CONSUMO INTERNO DE PAPEL

DATOS OBTENIDOS DE
LA C.N.I.C. Y P.

PROYECCIONES A FUTURO CONSUMO ESPERADO DE NaClO EN SOLUCION AL 15 %



FACTOR UTILIZADO :
0.234 L DE NaClO (15%) / Kg PULPA STD.

LOCALIZACION DE LA PLANTA

Se consideraron diversos factores determinantes para tomar la decisión de la mejor localización para la planta proyectada. Estos factores fueron los siguientes :

- Cercanía a la fuente principal de materia prima. Ya que la producción de hipoclorito de sodio se basa en el tratamiento y electrólisis de agua de mar, era indispensable que estuviera en una zona que colindara con el mar, para evitar gastos adicionales ocasionados por la transportación del agua marina a las instalaciones.

- Cercanía a regiones productoras tanto de celulosa de madera (con todas sus variantes) como aquellas productoras de papel.

- Se requería de una región con vías de comunicación completas ya que si llegase a ser necesario transportar el producto terminado a otros polos de producción , el tiempo requerido para la transportación fuera el menor posible ya que el hipoclorito de sodio en solución no debe someterse a temperaturas mayores de 40°C pues a estas condiciones empieza su descomposición en cloratos.

- Se requería de una zona que contara con la infraestructura necesaria para la instalación de una planta de

esta naturaleza; siendo el factor determinante el servicio de suministro de corriente eléctrica suficiente, sin embargo es necesario que la planta cuente con su propia planta generadora de corriente eléctrica.

Tomando en cuenta los factores antes mencionados, se tomó la decisión de instalar la planta en la población de Alvarado, Veracruz. Algunas de las ventajas que ofrece esta decisión son :

- El Estado de Veracruz representa el 70% de la producción a nivel nacional de celulosa de plantas anuales, siendo su principal fuente el bagazo de caña.

- Cercanía con el Estado de Oaxaca, el cual representa el 78% de la producción a nivel nacional de pasta mecánica de madera.

- Tomando en consideración la participación relativa por Estados en la producción de papel, el Estado de Veracruz representa el 12% y el Estado de Oaxaca el 5%.

- Adicionalmente el Estado de México también se encuentra localizado relativamente cerca del Estado de Veracruz, lo cual es una gran ventaja ya que este Estado representa el 31% de la participación relativa de la producción de papel a nivel nacional y un 30% en la producción de celulosa de plantas anuales.

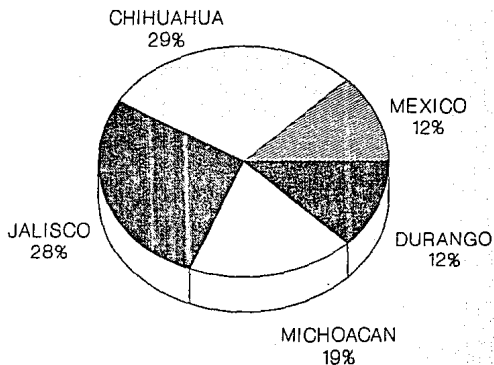
En las siguientes gráficas se puede ver la participación por Estados de las diferentes clases de pastas de celulosa aprovechables para la fabricación de papel que relacionado con este estudio lleva a la visualización de necesidades de hipoclorito para este fin por Estados.

- Aunado a lo anterior la ciudad de Alvarado, Veracruz, cuenta con una infraestructura adecuada para satisfacer las necesidades de la planta ya que cuenta con:

- Servicio de electricidad.
- Agua.
- Combustible.
- Redes ferroviarias.
- Vias de comunicación (Carreteras).
- Incentivos económicos por parte del gobierno del estado.

Por lo anterior, se puede observar que se cuenta con los servicios necesarios además de disponibilidad de materia prima y cercanía con los consumidores, factores importantes para tomar esta decisión ya que pueden reducir los gastos referentes a transportación de los productos.

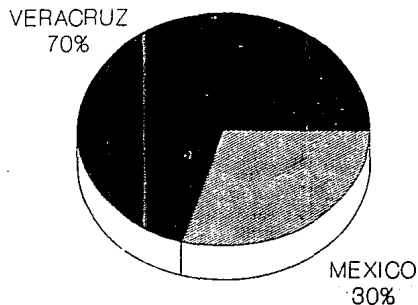
**PRODUCCION DE CELULOSA POR ESTADOS
CELULOSA DE MADERA
1988**



CELULOSA DE MADERA

**DATOS OBTENIDOS DE LAS FABRICAS Y DE LA
C.N.I.C.P.**

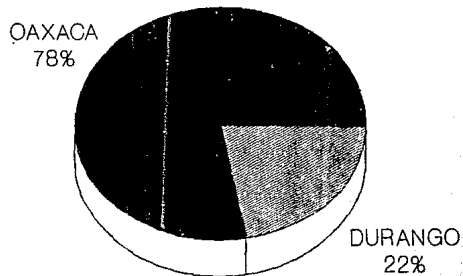
**PRODUCCION DE CELULOSA POR ESTADOS
CELULOSA DE PLANTAS ANUALES
1988**



CELULOSA DE PLANTAS ANUALES

**DATOS OBTENIDOS DE LAS FABRICAS Y DE LA
C.N.I.C.P.**

**PRODUCCION DE CELULOSA POR ESTADOS
PASTA MECANICA DE MADERA
1988**



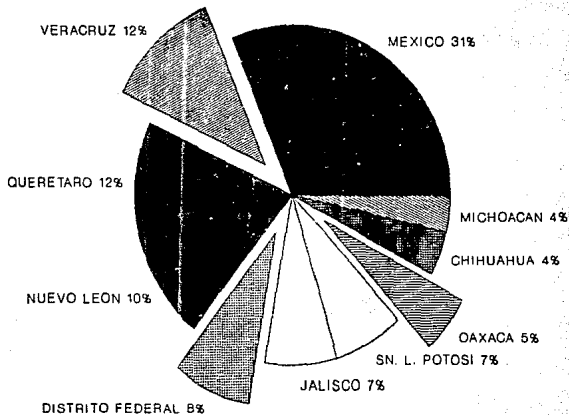
PASTA MECANICA DE MADERA

**DATOS OBTENIDOS DE FABRICAS Y DE
LA C.N.I.C.P.**

**INCLUYE VOL. DE PASTA TERMOMECANICA
Y QUIMICO-TERMOMECANICA**

PRODUCCION DE PAPEL POR ESTADOS 1988

PARTICIPACION RELATIVA



FUENTE : DATOS DE LAS FABRICAS
Y C.N.I.C.P.

DESCRIPCION DE LA RUTA QUIMICA

BASES TEORICAS DE LA ELECTROLISIS DE HALUROS ALCALINOS

Todos los haluros alcalinos son susceptibles de descomponerse por electrólisis de sus soluciones acuosas o de sus sales fundidas, pero únicamente la electrólisis del NaCl ha tenido importancia comercial y la del KCl en menor escala.

TEORIA GENERAL

Cuando el NaCl se disuelve en agua, la sal se disocia liberando iones Na^+ e iones Cl^- , mientras que el agua contiene iones H^+ e iones OH^- . Cuando una solución salina se electroliza entre electrodos inertes (Platino, carbón o un ánodo de carbón y cátodo de hierro) los iones Cl^- se descargan en el ánodo y los iones hidrógeno en el cátodo. Esto deja iones Na^+ y OH^- en la solución dando pie a la formación de NaOH.

La reacción en los electrodos puede representarse por:



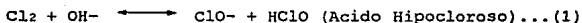
El cloro liberado es parcialmente soluble en el electrolito y a menos que sea retenido en alguna combinación química se escapará como gas casi inmediatamente.

Si el objetivo de la electrólisis es la producción de Cl_2 e hidróxido de sodio, los productos del ánodo y del cátodo respectivamente, se mantienen separados para que no reaccionen entre ellos. Sin embargo, si lo que se desea es producir NaClO , NaClO_2 o NaClO_4 , el cloro y el NaOH se llevan a un contacto íntimo para que puedan reaccionar.

REACCION QUIMICA

Si el NaCl se electroliza se obtiene cloro y sosa, todos los haluros alcalinos se descomponen similarmente.

A menos de que se usen medios especiales para mantener los productos separados, se combinarán mutuamente. La reacción para Cl_2 con iones OH^- es la siguiente:

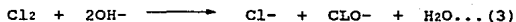


La reacción es reversible, pero la reacción con cloro es predominante de izquierda a derecha en las condiciones de equilibrio, el cual no se alcanza en celdas electroquímicas.

El ácido hipocloroso formado se remueve ya que se combina con la sosa o mas específicamente con los iones OH^- :



Por adición de las ecuaciones (1) y (2) el proceso puede representarse por la siguiente ecuación:



que puede escribirse de la siguiente forma:



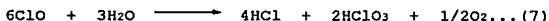
donde NaClO es el hipoclorito de sodio.

Se observará que los iones Na^+ no aparecen en la ecuación (3), ya que solo se encuentran presentes mientras que los otros iones sí se transforman. Es importante notar que en la ecuación (4), aquellos 2 átomos de Cl^- que entran en la reacción, solo uno aparece en el cloruro de sodio, por lo que solo el 50% del cloro descargado en el ánodo se combina para formar NaClO . Si las reacciones anteriores son las únicas que se llevan a cabo, es posible que todo el cloro se convierta a NaClO , pero esto no se puede realizar debido a que existen otras reacciones paralelas.

No todos los iones OH^- se combinan como lo indican las ecuaciones (1) y (2) sino que algunos emigran y se descargan en el ánodo.



El oxígeno se escapa en el ánodo, de cualquier modo, la descarga de los iones OH^- no es muy pronunciada a bajas temperaturas, más aún el NaClO se autodisocia en iones sodio e hipoclorito; algunos de estos últimos llegarán al ánodo, donde serán descargados y el ión hipoclorito liberado se combinará con agua, esto se ilustra en la siguiente ecuación :



En la práctica se usan soluciones salinas neutras; en la inmediata vecindad del ánodo la concentración de OH^- es baja, pero el ClO^- formado en el seno del electrolito puede emigrar fácilmente a la región anódica, baja en concentración

de iones OH⁻. La hidrólisis entonces puede tener lugar representada por :



Debido a la alta concentración de cloro en el ánodo, se encontrará ahí más ácido hipocloroso que en otra parte del electrolito. Este ácido reacciona con el NaClO formando clorato y ácido clorhídrico.



El HCl a su vez produce más ácido hipocloroso.



que ayuda a que la reacción (9) se lleve a cabo continuamente acelerándose a temperaturas altas.

En el cátodo, el hipoclorito es atacado por el hidrógeno



Esta descomposición se puede reducir bastante al añadir un poco de cromato de potasio (K₂CrO₄), se acción parece deberse a la formación de una cubierta sobre el cátodo, impidiendo así que el NaClO tenga contacto directo con el hidrógeno naciente que se libera directamente en el cátodo.

Para el caso en el que el hipoclorito sea usado con fines de blanqueo no puede usarse el cromato debido a que es un colorante fuerte, por lo que se usa un sulfuro orgánico no aromático de alto peso molecular como el aceite rojo de Turquía en presencia de una sal de calcio (CaCl₂). Lo anterior forma un limo hidratado en el cátodo donde actúa como diafragma al igual que la película de cromato también forma un diafragma en el ánodo previniendo la formación de clorato.

Además el hipoclorito puede ser descompuesto en reacciones representadas por las siguientes ecuaciones :



estas reacciones que ocurren en soluciones alcalinas tienen lugar muy lentamente, tanto que la solución de hipoclorito puede estar almacenada por días.

De todos modos la ecuación (13) puede proceder muy rápidamente si se cataliza con óxidos de cobalto, níquel, cobre, hierro o platino negro.

No es posible por consiguiente continuar la electrólisis hasta obtener una solución saturada de hipoclorito. De las varias reacciones alternas, aquellas representadas por las ecuaciones (5), (8), (9), (11), (12), (13) pueden ser reducidas a un mínimo con condiciones apropiadas de operación, no obstante, la descarga anódica de iones de hipoclorito, ecuaciones (6) y (7) no pueden lograr dicha reducción por consiguiente, después de que una celda ha estado en operación suficiente tiempo para llegar a un estado estacionario, 2/3 partes de la corriente serán gastadas para producir cloro, el cual reacciona con los iones OH^- para dar iones ClO^- y una tercera parte en la descarga de estos últimos.

CELDA PARA PRODUCCION DE CLORO Y SOSA

Como se describió anteriormente, la diferencia entre producir cloro y sosa y producir hipoclorito de sodio en celdas electroquímicas radica en que en el caso de cloro-sosa los productos de la electrólisis se separan para impedir que se lleve a cabo otra reacción sucesiva, no así en el caso de la producción de NaClO en la cual es de suma importancia que los iones producidos en la electrólisis, entren en contacto entre sí para que se pueda dar la reacción que permite la formación del hipoclorito de sodio.

PROCESOS ANODICOS Y CATODICOS EN CELDAS

Los procesos catódico y anódico en celdas cloro-sosa se ven afectados por diferentes variables como pueden ser; los materiales de los electrodos, temperatura, concentración del electrolito y pureza corriente directa, construcción de la celda, etc. En el ánodo se presenta una descarga de cloro y si las condiciones son favorables puede reaccionar con el agua para formar iones ClO^- y HClO libre.

Si una solución de NaCl se electroliza bajo condiciones tales que la corriente directa en los electrodos permanezca constante (para mantener esta condición se debe mantener el voltaje constante), los productos de los electrodos se mantengan separados y no se adicionen más sales a la celda, se favorece la producción de hipoclorito. La concentración de los iones cloro

disminuirá mientras la concentración de HClO aumenta si el cloro en solución se mantiene constante o aumenta. La constante de disociación del ácido hipocloroso es $3.7 \cdot 10^{-8}$ a 200°C. Si se aumenta el voltaje se favorece la formación de clorato.

ANODOS

El material de construcción de los ánodos debe ser de preferencia químicamente inertes, con alta resistencia mecánica, económicos, con buena conductividad eléctrica y un bajo sobrevoltaje de cloro debido a que el potencial del ánodo se determina por la descarga de iones cloro y la liberación del cloro gaseoso. El sobrevoltaje en ánodo de platino es alto por lo que hoy en día son obsoletos. Su alto costo requiere de una corriente directa alta dando por resultado voltajes altos. Los ánodos de magnetita son baratos y utilizan una corriente directa baja lo que los hace muy ventajosos; sin embargo, presentan la desventaja de ser muy frágiles por no tener la resistencia mecánica del grafito o de los metales.

Los ánodos de grafito presentan un sobrevoltaje menor que los de platino trayendo como consecuencia que la formación de clorato en la superficie tarde más en presentarse que en el platino y que en la magnetita bajo las mismas condiciones. Por otro lado el grafito requiere un sobrevoltaje bajo para la descarga de los iones OH-, por lo que la evolución del oxígeno comienza antes y requiere una fracción mayor de la corriente total comparada con el platino y la magnetita.

En el caso del grafito se usa una corriente directa mediana provocando así que la mayor parte de la electrólisis se lleve a cabo en la superficie. Los ánodos de grafito se usan universalmente, comunmente se impregnan con aceites oxidables del tipo de secadores o con sustancias resinosas o algún otro reactivo que aumente la densidad aparente y reduzca la polaridad.

La desintegración de los ánodos es un factor a considerar en las celdas comerciales, por lo que se necesita reemplazarlos. Estos ánodos duran entre 1 y 3 años. El consumo de grafito es de 5 lb o menos por tonelada de cloro producido.

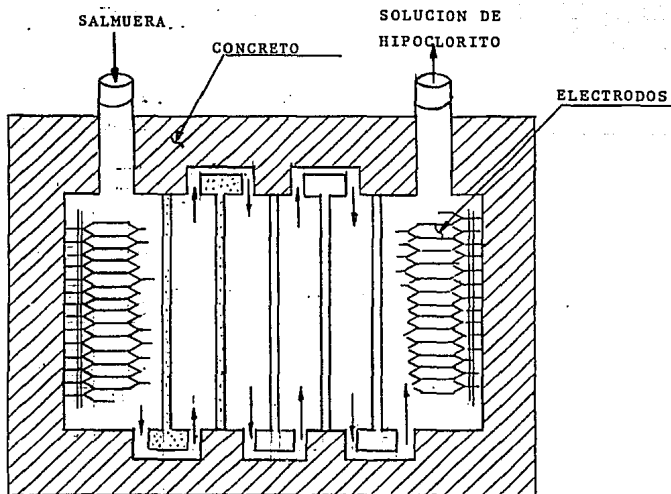
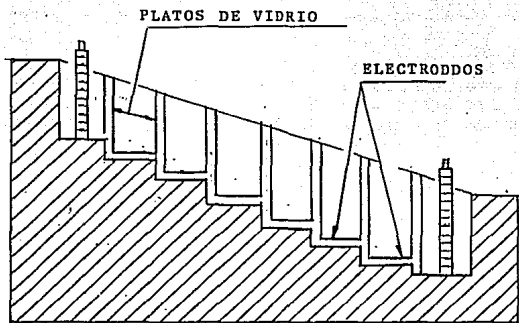
CATODOS

Los materiales para los catodos deben ser baratos, prefabricados mecánicamente resistentes si se usan en forma sólida y debido a que los iones Na^+ no pueden ser descargados rápidamente en los electrodos metálicos, deben tener un sobrevoltaje bajo para el hidrógeno. El potencial del electrodo para una solución de iones Na^+ en el cual los iones son descargados es de -2.714 V, mientras que los iones H^+ solo requieren -0.4 V. Se ha visto que la evolución del hidrógeno suele ocurrir con mayor rapidez en metales como hierro, cobre y níquel. A una alta corriente directa como resultado del efecto de incrementar la corriente directa en el sobrevoltaje de hidrógeno en cátodos de plomo platino, hojalata, la descarga del ión Na^+ tiene lugar con una reacción de aleación en el

cátodo, seguido de una reacción química de estas aleaciones con el agua del electrolito y del desprendimiento del gas hidrógeno. La superficies de los materiales catódicos están físicamente cuarteados y en una operación comercial el producto de esta desintegración debe ser tratado para restaurarlo a su condición normal.

A pesar de que el hierro muestra un sobrevoltaje bajo de hidrógeno comparado con el cobre, níquel, grafito, hojalata o aluminio; es bastante más barato y no se ve atacado en exceso por álcalis o soluciones alcalinas de colruro de sodio, este es el material catódico universalmente aceptado para celdas de diafragma como en las celdas de mercurio donde el mercurio es un electrodo intermedio.

CELDA ELECTROLITICA KELLNER



CELDA ELECTROLITICA TIPO KELLNER

La celda Kellner es un equipo electroquímico el cual utiliza electrodos horizontales, se le considera una de las celdas electrolíticas más eficientes en la producción del NaClO electrolítico. (VER FIGURA DE LA PAGINA ANTERIOR).

La celda Kellner se encuentra dividida en 6 cámaras arregladas en forma de terrazas así que el flujo del fluido se lleva a cabo en forma de cascada. Los electrodos son bipolares y se encuentran hechos de un alambre de platino iridiado formando una red.

Las cámaras se encuentran separadas por particiones de vidrio. Para propiciar la continuidad del flujo desde un electrodo a otro desde una cámara a otra. Las particiones de vidrio están diseñadas para ser fijadas en los canales o estrias localizadas en el fondo de la celda; actualmente la construcción se lleva a cabo mediante un firme ajuste de estas divisiones de vidrio en los canales del fondo para evitar el flujo de electrolito bajo ellas. La salmuera conteniendo 15 % de cloruro de sodio entra por la parte superior a través de un orificio en una de las paredes, parte de la solución pasa a través de los electrodos, los que se encuentran separados a una distancia uno de otro de 0.2 plg., localizándose el cátodo en la parte superior y el ánodo en la parte inferior.

La adición de cloruro de calcio y del rojo de Turquía tiene como fin el incrementar el rendimiento de la reacción.

La solución pasa de cámara a cámara y finalmente sale de la celda.

Con este procedimiento se puede preparar un licor que contenga de 25 a 30 g de cloro activo / litro, con un consumo energético de 6.2 KW-H / Kg. La solución se mantiene alrededor de los 21°C para evitar la descomposición del producto, es enfriado tras salir de la celda para posteriormente ser recirculado a la misma celda hasta obtener la concentración de hipoclorito deseada.

CRITERIOS DE OPERACION PARA UNA CELDA KELLNER

1.- El electrolito debe ser neutro, ya que un pH ácido producirá ácido hipocloroso de acuerdo a la ecuación (10) y este ácido descompondrá el hipoclorito conforme a la ecuación (11).

2.- La concentración del cloruro de sodio en el electrolito debe ser alta, esto reduce la resistencia de la celda y la solución de hipoclorito será más fuerte mientras más alta sea la concentración de cloruro de sodio y más fácilmente se descargarán los iones Cl^- obteniendo así una mayor producción de hipoclorito.

3.- La celda debe ser diseñada para permitir una difusión estable sobre el ánodo, esto permite un empobrecimiento de ClO^- en el ánodo y por lo tanto su descarga se reducirá conforme a las ecuaciones (6) y (7).

4.- La celda debe estar operada a baja temperatura, puesto que la descomposición del hipoclorito por el ácido hipocloroso (ecuación (9)) la descarga de iones OH^- ecuación (5) y la de iones ClO^- ecuación (6) proceden a menor velocidad a bajas temperaturas. Las operaciones a bajas temperaturas requieren enfriamiento artificial por lo que no se usan generalmente (la temperatura en la celda nunca debe ser mayor a 40°C).

5.- El cromato de potasio K_2CrO_4 o el rojo de Turquía más $CaCl_2$ pueden ser añadidos para prevenir la interacción del hipoclorito y el hidrógeno nascente (ecuación (11)), pero si se va a usar la solución de hipoclorito para blanqueo, el cromato de potasio es objetable tomando en cuenta su color.

6.- La celda debe ser operada a una densidad de corriente alta, Esto produce una mayor concentración de hipoclorito. La razón es probablemente que, los iones Cl^- se descargan mas rápido, la difusión es más fuerte y la descarga de ClO^- es menor.

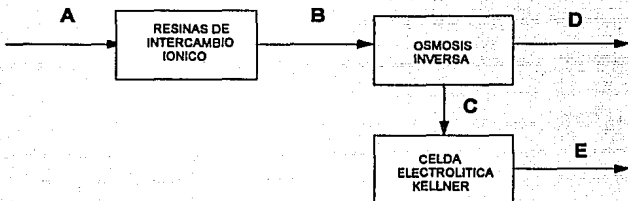
Una alta densidad de corriente, sin embargo, aumenta la temperatura de la celda y las ventajas de operar a una baja temperatura se pierden.

7.- Experimentos han demostrado que los electrodos platinados rinden una mayor concentración de hipoclorito que ningún otro electrodo.

Pravsnitz tuvo éxito en obtener 100 g/l de cloro activo con electrodos de platino, los métodos comerciales actuales normalmente rinden concentraciones mucho menores de ese valor. Debido a su costo, los electrodos de platino no se usan comercialmente.

BALANCES DE MATERIA Y ENERGIA

I BALANCES DE MATERIA :



CELDA ELECTROQUIMICA



De acuerdo a datos de los fabricantes para producir 3,000 litros de solución de NaOCl al 15 % se requieren 3,000 litros de salmuera al 15 %. Tomando en cuenta que se puede recircular la solución formada para alcanzar la concentración deseada.

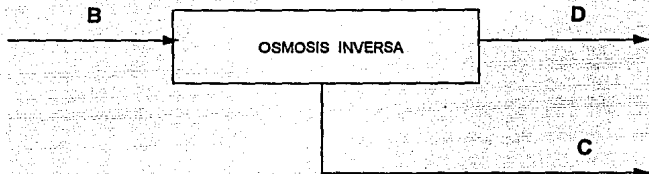
Densidad de salmuera @ 20°C, 15 % = 1.116 Kg / l

$$C = 3,000 \text{ LITROS} \times 1.116 \text{ Kg/l} = 3,348 \text{ Kg}$$

$$C_{\text{NaCl}} = 3,348 \times 0.15 = 502.2 \text{ Kg}$$

$$C_{\text{H}_2\text{O}} = 3,348 - 502.2 = 2,845.8 \text{ Kg}$$

OSMOSIS INVERSA



La corriente B lleva una concentración de 25 g/l de NaCl.

La membrana tiene una eficiencia del 96 %, por lo que en C se tiene un 96 % de sal de lo que existe en B, tomando en cuenta que C es el rechazo del cartucho.

$$C = 502.2 \text{ Kg}$$

$$B_{\text{NaCl}} = 502.2 / 0.96 = 523.125 \text{ Kg}$$

$$D_{\text{NaCl}} = 523.125 - 502.2 = 20.9 \text{ Kg}$$

Como la concentración de B es igual a 25 g/l = 0.025 Kg/l.
entonces $B = 523.125 \text{ Kg} / 0.025 \text{ Kg/l} = 20,925 \text{ l}$.

Densidad de salmuera @ 25 g/l sales = 1.025 Kg/l

$$B = 20,925 \text{ litros} * 1.025 \text{ Kg/l} = 21,448.12 \text{ Kg}$$

$$B_{\text{NaCl}} = 523.125 \text{ Kg}$$

$$B_{\text{H}_2\text{O}} = 20,925 \text{ Kg}$$

$$D = 21,448.12 - 3,348 = 18,100.12 \text{ Kg}$$

$$D_{\text{NaCl}} = 523.125 \text{ Kg} - 502.2 \text{ Kg} = 20.92 \text{ Kg}$$

$$D_{\text{H}_2\text{O}} = 20,925 \text{ Kg} - 2,845.8 \text{ Kg} = 18,079.2 \text{ Kg}$$

RESINAS DE INTERCAMBIO IONICO



$$A_{Na2O} = B_{Na2O}$$

$$A = 20,925 \text{ Kg}$$

En A tenemos 0.035 Kg / litro (35,000 ppm) de sólidos totales, por lo tanto para determinar la cantidad de sales retenidas en las resinas :

$$A_{\text{sólidos totales}} = 20,925 * 0.035 = 732.375 \text{ Kg}$$

$$B_{\text{sólidos totales}} = 523.125 \text{ Kg}$$

Cantidad de sólidos retenidos en las resinas :

$$A - B = 732.275 - 523.125 = 209.25 \text{ Kg}$$

$$A = 21,657.37 \text{ Kg}$$

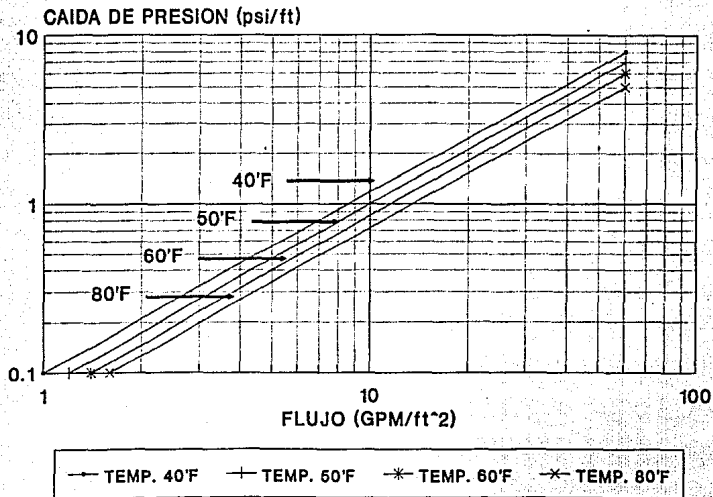
$$A_{Na2O} = 20,925 \text{ Kg}$$

$$A_{NaCl} = 523.125 \text{ Kg}$$

$$A_{\text{sales de Mg y Ca}} = 209.25 \text{ Kg}$$

AMBERLITE IR-120 plus

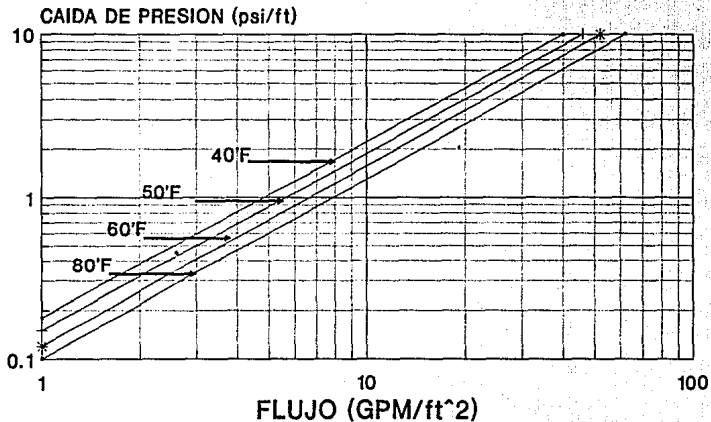
CAIDA DE PRESION POR PIE DE RESINA



FUENTE :MANUAL TECNICO ROHM AND HASS CO.

AMBERLITE IRA-402

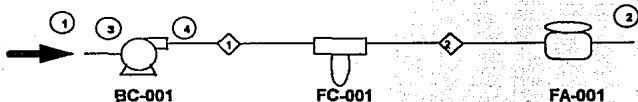
CAIDA DE PRESION



FUENTE: MANUAL TECNICO ROHM & HASS CO.

II BALANCES DE ENERGIA :

BALANCE PARA EL CALCULO DE LA BOMBA BC-001



BALANCE BERNOULLI DE 1 A 2

$$\Delta E_1 + \Delta E_c + \Delta E_{Pc} + \Delta E_P + \Sigma F = Q - W$$

$$\Delta E_1 = 0$$

$$\Delta E_c = 0$$

$$\Delta E_{Pc} = 8.33 \text{ Kgf m / Kg}$$

$$\Delta E_P = 70.0 \text{ Kgf m / Kg}$$

$$\Sigma F = 2.0 \text{ Kgf m / Kg}$$

$$Q = 0$$

$$(-W) = 17.33 \text{ Kgf m / Kg}$$

$$\Sigma F = \Sigma F_D + \Sigma F_s = 1.6 + 0.4$$

BALANCE BERNOULLI DE 1 A 3

$$\Delta E_1 = 0$$

$$\Delta E_c = 0$$

$$Q = 0$$

$$W = 0$$

$$\Delta E_{Pc} = (P_3 - P_1) / \rho = (P_3 - 10,340) / 1,200$$

$$\Sigma F_s = 0.4$$

$$\Delta E_P = 15 \text{ Kgf m / Kg}$$

$$\Delta E_{Pc} = -15.4 \text{ Kgf m / Kg}$$

$$P_3 = 1,460 \text{ Kgf / m}^2$$

BALANCE BERNOULLI DE 4 A 2

$$\Delta E_i = 0$$

$$\Delta E_c = 0$$

$$Q = 0$$

$$W = 0$$

$$\Delta E_{Pr} = (P_2 - P_4) / \rho = (10,340 - P_4) / 1,200$$

$$\Sigma F_D = 1.6$$

$$\Delta E_P = 2 \text{ Kgf m / Kg}$$

$$\Delta E_{Pr} = -3.6 \text{ Kgf m / Kg}$$

$$P_4 = 14,660 \text{ Kgf / m}^2$$

$$\Delta P_B = 13,200 \text{ Kgf / m}^2$$

$$HP_B = \Delta P_B / \rho = 11.00 \text{ Kgf m / Kg}$$

$$NPSH_D = S + (P_s - P_v) + 2.31 / SpG - h_L$$

$$S = -22.96 \text{ ft}$$

$$P_v = 0.2482 \text{ psi}$$

$$P_s = 14.7 \text{ psi}$$

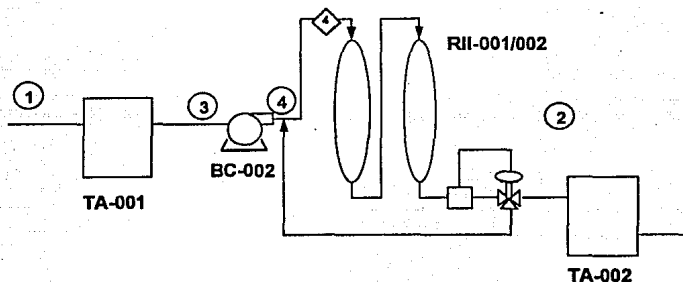
$$SpG = 1.2$$

$$h_L = 1.312 \text{ ft lbf / lb}$$

$$NPSH_D = 3.55 \text{ ft lbf / lb}$$

$$NPSH_R = 0.55 \text{ ft lbf / lb} = 0.1672 \text{ Kgf m / Kg}$$

BALANCE PARA EL CALCULO DE LA BOMBA BC-002



BALANCE BERNOULLI DE 1 A 2

$$\Delta E_i + \Delta E_c + \Delta E_{pc} + \Delta E_p + \Sigma F = Q - W$$

$$\Delta E_i = 0$$

$$\Delta E_c = 0$$

$$\Delta E_{pc} = 0.409 \text{ Kg f m / Kg}$$

$$\Delta E_p = 3.65 \text{ Kg f m / Kg}$$

$$\Sigma F = 2.0 \text{ Kg f m / Kg}$$

$$Q = 0$$

$$(-W) = 6.005 \text{ Kg f m / Kg}$$

$$\Sigma F = \Sigma F_b + \Sigma F_s = 1.9 + 0.1$$

BALANCE BERNOULLI DE 1 A 3

$$\Delta E_1 = 0$$

$$\Delta E_c = 0$$

$$Q = 0$$

$$W = 0$$

$$\Delta E_{Pr} = (P_3 - P_1) / \rho = (P_3 - 10,340) / 1,158$$

$$\Sigma F_g = 0.2$$

$$\Delta E_P = 3.65 \text{ Kgf m} / \text{ Kg}$$

$$\Delta E_{Pr} = -0.1 \text{ Kgf m} / \text{ Kg}$$

$$P_3 = 10,224 \text{ Kgf} / \text{ m}^2$$

BALANCE BERNOULLI DE 4 A 2

$$\Delta E_1 = 0$$

$$\Delta E_c = 0$$

$$Q = 0$$

$$W = 0$$

$$\Delta E_{Pr} = (P_2 - P_4) / \rho = (10,814 - P_4) / 1,158$$

$$\Sigma F_D = 1.9$$

$$\Delta E_P = 3.65 \text{ Kgf m} / \text{ Kg}$$

$$\Delta E_{Pr} = -5.55 \text{ Kgf m} / \text{ Kg}$$

$$P_4 = 17,240 \text{ Kgf} / \text{ m}^2$$

$$\Delta P_B = 7,016 \text{ Kgf} / \text{ m}^2$$

$$H_{P_B} = \Delta P_B / \rho = 6.06 \text{ Kgf m} / \text{ Kg}$$

$$NPSH_D = S + (P_s - P_v) + 2.31 / SpG - h_L$$

$$S = 0$$

$$P_v = 0.2482 \text{ psi}$$

$$P_s = 14.7 \text{ psi}$$

$$SpG = 1.2$$

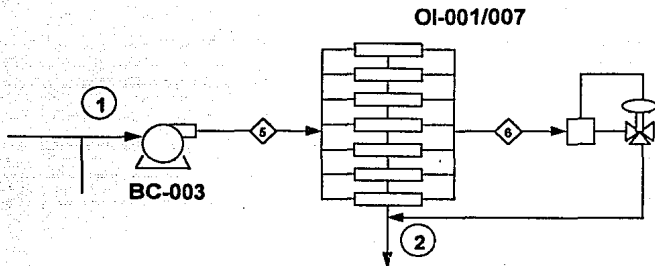
$$h_L = 0.328 \text{ ft lbf / lb}$$

$$NPSH_D = 28.50 \text{ ft lbf / lb}$$

$$NPSH_R = 25.50 \text{ ft lbf / lb} = 7.75 \text{ Kg f m / Kg}$$

BALANCE PARA EL CALCULO DE LA BOMBA BC-003

Se requiere una bomba con una presión de descarga de 600 psi para el adecuado funcionamiento de los cartuchos de membranas de osmosis inversa.



BALANCE BERNOULLI DE 1 A 2

$$\Delta E_1 + \Delta E_c + \Delta E_{Pr} + \Delta E_P + \Sigma F = Q - W$$

$$\Delta E_1 = 0$$

$$\Delta E_c = 0$$

$$\Delta E_{Pr} = 355.52 \text{ Kgf m / Kg}$$

$$\Delta E_P = 0 \text{ Kgf m / Kg}$$

$$\Sigma F = 2.0 \text{ Kgf m / Kg}$$

$$Q = 0$$

$$(-W) = 357.52 \text{ Kgf m / Kg}$$

$$\Sigma F = \Sigma F_D + \Sigma F_s = 1.9 + 0.1$$

$$\text{Presión de succión} = 10,340 \text{ Kgf / m}^2$$

$$\text{Presión de descarga} = 422,040 \text{ Kgf / m}^2$$

$$\text{NPSH}_D = S + (P_s - P_v) + 2.31 / \text{SpG} - h_L$$

$$S = 0$$

$$P_v = 0.2482 \text{ psi}$$

$$P_s = 14.7 \text{ psi}$$

$$\text{SpG} = 1.116$$

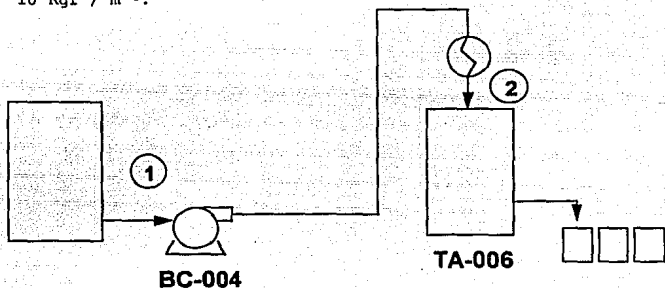
$$h_L = 0 \text{ ft lbf / lb}$$

$$\text{NPSH}_D = 29.91 \text{ ft lbf / lb}$$

$$\text{NPSH}_R = 26.91 \text{ ft lbf / lb} = 8.18 \text{ Kgf m / Kg}$$

BALANCE PARA EL CALCULO DE LA BOMBA BC-004

Se estima una caída de presión en el cambiador de calor de
10 Kgf / m².



BALANCE BERNOULLI DE 1 A 2

$$\Delta E_t + \Delta E_c + \Delta E_{Pr} + \Delta E_p + \Sigma F = Q - W$$

$$\Delta E_t = 0$$

$$\Delta E_c = 0$$

$$\Delta E_{Pr} = 0.01 \text{ Kgf m / Kg}$$

$$\Delta E_p = 0 \text{ Kgf m / Kg}$$

$$\Sigma F = 2.0 \text{ Kgf m / Kg}$$

$$Q = 0$$

$$(-W) = 2.01 \text{ Kgf m / Kg}$$

$$\Sigma F = \Sigma F_o + \Sigma F_s = 1.9 + 0.1$$

$$NPSH_o = S + (P_s - P_v) + 2.31 / SpG - h_L$$

$$S = 0$$

$$P_v = 0.25 \text{ psi}$$

$$P_s = 14.7 \text{ psi}$$

$$SpG = 1$$

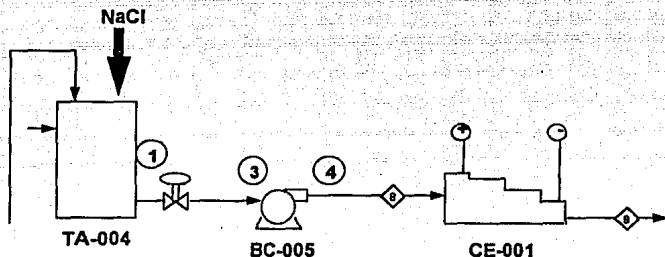
$$h_L = 0.1 \text{ ft lbf / lb}$$

$$NPSH_D = 33.05 \text{ ft lbf / lb}$$

$$NPSH_R = 30.05 \text{ ft lbf / lb} = 9.13 \text{ Kgf m / Kg}$$

BALANCE PARA EL CALCULO DE LA BOMBA BC-005

Se estima una caída de presión en la celda electrolítica de 5 psi (3,517 Kg_f / m²). P₂ = 13,857 Kg_f / m²



BALANCE BERNOULLI DE 1 A 2

$$\Delta E_i + \Delta E_c + \Delta E_{Pr} + \Delta E_p + \Sigma F = Q - W$$

$$\Delta E_i = 0$$

$$\Delta E_c = 0$$

$$\Delta E_{Pr} = 3.15 \text{ Kg}_f \text{ m} / \text{Kg}$$

$$\Delta E_p = 0 \text{ Kg}_f \text{ m} / \text{Kg}$$

$$\Sigma F = 2.0 \text{ Kg}_f \text{ m} / \text{Kg}$$

$$Q = 0$$

$$(-W) = 5.15 \text{ Kg}_f \text{ m} / \text{Kg}$$

$$\Sigma F = \Sigma F_D + \Sigma F_s = 1.9 + 0.1$$

$$NPSH_d = S + (P_s - P_v) / \rho g - h_L$$

$$S = 0$$

$$P_v = 0.2371 \text{ psi}$$

$$P_s = 14.7 \text{ psi}$$

$$\text{SpG} = 1.116$$

$$h_L = 0.1 \text{ ft lbf / lb}$$

$$\text{NPSH}_D = 29.57 \text{ ft lbf / lb}$$

$$\text{NPSH}_R = 26.57 \text{ ft lbf / lb} = 8.07 \text{ Kg f m / Kg}$$

BALANCE PARA EL CALCULO DEL CAMBIADOR DE CALOR CC-001

BALANCE DE CALOR :

HIPOCLORITO DE SODIO $T_{prom} = (40 + 25) / 2 = 32.5^{\circ}\text{C}$

AGUA ULTRAPURA $t_{prom} = 21.1^{\circ}\text{C}$

$LMTD = [(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)] / \ln [(T_1 - t_2) / (T_2 - t_1)]$

FLUIDO CALIENTE : ANULO

FLUIDO FRIO : TUBO

ANULO 2" IPS

TUBO 1" IPS

$D_2 = 2.38 \text{ " } = 0.198 \text{ ft}$

$D_2 = 1.32 \text{ " } = 0.11 \text{ ft}$

$D_1 = 2.06 \text{ " } = 0.172 \text{ ft}$

$D_1 = 1.05 \text{ " } = 0.08 \text{ ft}$

AREA flujo = $3.038 \cdot 10^3 \text{ ft}^2$

AREA flujo = $6 \cdot 10^{-3} \text{ ft}^2$

$Deq = 0.1595 \text{ ft}$

$G_a = 101,053.3 \text{ lb hr} / \text{ft}^2$

$G_t = 275,000 \text{ lb hr} / \text{ft}^2$

$Re = 3,097.8$

$Re = 9,931.8$

$j_H = 10$

$j_H = 38$

$C_p = 0.4 \text{ suposición}$

$C_p = 1.0$

$(Pr)^{1/3} = 1.829$

$(Pr)^{1/3} = 1.904$

$\Phi = (\mu / \mu_w)^{0.8} = 1$

$\Phi = (\mu / \mu_w)^{0.8} = 1$

$h_o = 244 \text{ BTU} / \text{hr ft}^2 \text{ } ^{\circ}\text{F}$

$h_i = 281.46 \text{ BTU} / \text{hr ft}^2 \text{ } ^{\circ}\text{F}$

$h_{io} = 233.63$

Coefficiente total limpio U_c :

$U_c = 116.68 \text{ BTU} / \text{hr ft}^2 \text{ } ^{\circ}\text{F}$

Coefficiente total de diseño U_D :

$U_D = 94.607 \text{ BTU} / \text{hr ft}^2 \text{ } ^{\circ}\text{F}$

Superficie requerida :

$A = Q / (LMTD \cdot U) = 2.13 \text{ ft}^2$

Longitud requerida :

$$L = A / \text{ft lineal} = 6.16 \text{ ft} = 7 \text{ ft}$$

Caida de presión :

$$f = 0.013$$

$$\Delta F_s = 0.01474 \text{ ft}$$

$$\Delta P_s = 7.226 * 10^{-3} \text{ lb / plg}^2$$

BASES DE DISEÑO

1. GENERALIDADES

1.1 FUNCION DE LA PLANTA

La planta Hipocloritos de Veracruz, que estará ubicada en la ciudad de Alvarado, Veracruz, tendrá como función la producción de hipoclorito de sodio en solución al 15 % para ser usado principalmente para el blanqueo de pulpa de celulosa. Este producto se obtendrá a partir de agua marina tomada del Golfo de México o bien de la laguna de Alvarado. Como subproducto se obtendrá agua ultrapura.

1.2 TIPO DE PROCESO

El proceso que se empleará consiste en hacer una electrólisis química de una solución concentrada de salmuera que proveendrá principalmente de agua marina tras un proceso de purificación y concentración de agua de mar a través de una celda electrolítica tipo Kellner.

2. CAPACIDAD, RENDIMIENTO Y FLEXIBILIDAD DE LA PLANTA

2.1 FACTOR DE SERVICIO

La planta operará 312 días al año y se consideran 53 días de mantenimiento preventivo y correctivo. Por lo tanto el factor de servicio F.S. = 85.48 %

2.2 CAPACIDAD

MAXIMA	3,450 LITROS / DIA
NORMAL	3,000 LITROS / DIA
MINIMA	EN FUNCION DE LA CAPACIDAD MINIMA QUE MANEJEN LAS BOMBAS

RENDIMIENTO : El rendimiento más alto se obtendrá cuando se emplee una solución preparada de salmuera a base de agua suavizada y sal bajo calcio-magnesio. El más bajo se obtendrá a partir del agua marina.

2.3 FLEXIBILIDAD

La planta tendrá la flexibilidad de utilizar agua marina o bien salmuera preparada como materia prima.

Es indispensable el suministro de energía eléctrica ya que todas las bombas y la celda trabajan con corriente eléctrica.

2.4 PREVISIONES PARA FUTURAS AMPLIACIONES

El armado de esta planta es modular, por lo que la única previsión que debe tenerse en cuenta es la de espacio, área que deberá considerarse en el arreglo de equipo para colocar un módulo adicional.

3. ESPECIFICACIONES DE LA ALIMENTACION

Las alimentaciones a la planta y sus especificaciones serán las siguientes :

ALIMENTACION**COMPOSICION****FLUJO****PROMEDIO**

Agua marina

95.61 % agua

7,222.64 Kg/Hr

3.44 % NaCl

0.46 % sales de Ca

0.46 % sales de Mg

0.03 % otras sales

4. ESPECIFICACIONES DE LOS PRODUCTOS**4.1 HIPOCLORITO DE SODIO****4.1.1 ESPECIFICACIONES**

Hipoclorito de sodio 15.00 % @ 25°C.

4.1.2 FLUJO

139.5 Kg/Hr

4.1.3 IMPUREZAS

El contenido de impurezas será prácticamente nula.

El agua como solvente estará presente en un 85 % en peso.

4.2 AGUA ULTRAPURA

4.2.1 ESPECIFICACIONES

Agua ultrapura al 99.88 % como H²O y 0.12 % de cloruro de sodio.

4.2.2 FLUJO

754.17 kg/Hr

5. ALIMENTACIONES A LA PLANTA

5.1 CONDICIONES DE ALIMENTACION EN LIMITES DE BATERIA

ALIMENTACION	ESTADO FISICO	TEMPERATURA	FORMA DE RECIBO
AGUA MARINA	LIQUIDO	15.0'C	TUBERIA

6. CONDICIONES DE LOS PRODUCTOS EN LIMITES DE BATERIA

PRODUCTO	ESTADO FISICO	TEMPERATURA	FORMA DE ENTREGA
HIPOCLORITO	LIQUIDO	25.0'C	PIPAS
AGUA ULTRAPURA	LIQUIDO	22.2'C	PORRONES

7. ELIMINACION DE DESHECHOS

7.1 NORMAS Y REQUERIMIENTOS RESPECTO A LA PUREZA

Agua: Drenaje pluvial y sanitario separados hasta el límite de batería.

7.2 SISTEMAS PREFERIDOS DE ELIMINACION DE DESHECHOS

DRENAJE PLUVIAL Y DRENAJE SANITARIO.

8. ALMACENAMIENTO

Dentro de límites de batería se tendrán los siguientes tanques de carga :

Tanques intermedios de alimentacion de proceso.

Tanques de almacenamiento de materia prima.

Tanque de almacenamiento de producto terminado.

9. SERVICIOS AUXILIARES

9.1 VAPOR

No se generará ningún vapor dentro de límites de batería ni se requiere fuera de límites de batería.

9.2 AGUA DE ENFRIAMIENTO

Se usará la misma agua ultrapura obtenida como subproducto en el proceso como agua de enfriamiento.

TEMPERATURA DE ENTRADA AL PROCESO DE ENFRIAMIENTO : 20.0'C

TEMPERATURA DE SALIDA DEL PROCESO DE ENFRIAMIENTO : 22.2'C

SISTEMA DE ENFRIAMIENTO : sistema abierto

DISPONIBILIDAD : 5,985.38 Kg/Hr

9.3 AGUA PARA SERVICIOS Y PARA USOS SANITARIOS

De la red municipal.

9.4 AGUA POTABLE

No se requiere dentro de límites de batería.

9.5 SISTEMA CONTRA INCENDIO

Debido a que la mayoría de los equipos considerados dentro del proyecto funcionan con corriente eléctrica, no se recomienda el uso de agua por lo que se debe utilizar un sistema de extinguidores de polvo químico de tipo A B C.

9.6 AGUA PARA CALDERAS

No se requiere.

9.7 AGUA PARA PROCESO

No se requiere.

9.8 AIRE DE INSTRUMENTOS

El aire para instrumentos deberá ser generado dentro de la planta debiendo considerarse una capacidad extra del 10 %.

9.9 COMBUSTIBLE

No se requiere.

9.10 ENFRIAMIENTO

Se requiere un sistema de enfriamiento a base de Freon para el tanque de almacenamiento de producto terminado.

9.11 INERTES

No se requiere.

9.12 ALIMENTACION DE ENERGIA ELECTRICA

FUENTE DE SUMINISTRO : Comisión Federal de Electricidad

INTERRUPCIONES : Frecuencia practicamente nula

TENSION : 440 V en límites de batería

NUMERO DE FASES : 3

FRECUENCIA : 60 Hz

NUMERO DE CONDUCTORES : los suficientes para doble circuito

MATERIAL DEL CONDUCTOR : cobre electrolítico

FACTOR DE POTENCIA MINIMO : 0.80

SECCION DE CONDUCTORES : el necesario

AISLAMIENTO DE CONDUCTOR : PVC

DIAMETRO DEL DUCTO : el necesario

ACOMETIDA : subterránea

9.13 ALIMENTACION DE ENERGIA ELECTRICA DE EMERGENCIA

Solo para instrumentos y alumbrado de emergencia.

FUENTE DE SIMINISTRO : interna

TENSION : 240 V

NUMERO DE FASES : 1

FRECUENCIA : 60 Hz

NUMERO DE CONDUCTORES : suficientes para doble circuito

MATERIAL DEL CONDUCTOR : cobre electrolítico

SECCION DE CONDUCTORES : el necesario

AISLAMIENTO DE CONDUCTOR : PVC

DIAMETRO DEL DUCTO : el necesario

ACOMETIDA : subterráneo

9.14 TELEFONOS

Criterio de comunicaciones externa e interna.

10. SISTEMAS DE SEGURIDAD

10.1 SISTEMA CONTRA INCENDIO

Equipo móvil y portátil de extinguidor tipo A B C.

Cajas de arena.

Carros de espuma.

10.2 PROTECCION DE PERSONAL

Regaderas y lavajos.

Corriente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Componente (Kg/Hr)											
Agua	871.90	871.90	871.90	871.90	871.90	118.60	753.30	118.50	118.50	118.50	753.90
NaCl	21.80	21.80	21.80	21.80	21.80	20.90	0.90	20.92	trazas	trazas	0.90
Salos de Ca	4.36	4.36	4.36	4.36	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas
Salos de Mg	4.36	4.36	4.36	4.36	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas
NaClO	---	---	---	---	---	---	---	---	---	20.90	---
Total	902.42	902.42	902.42	902.42	893.70	139.50	754.20	139.50	139.50	139.50	754.20
Presión (psf)	20.84	18.84	16.84	24.50	600.00	15.00	15.00	18.70	18.70	19.70	14.80
Temperatura (°C)	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	40.00	25.00	22.20

LISTA DE EQUIPO

- BD-001 A DOS BOMBA CENTRIFUGA
- TA-001 A DOS TANQUE DE ALMACEN
- FD-001 FILTRO CANGSTA
- FA-001 FILTRO DE ARENA
- RI-001/002 RESINAS DE INTERCAMBIO IONICO
- CI-001/007 CARTUCHOS DE OSMOSIS INVERSA
- CE-001 CELDA ELECTROLITICA
- CC-001 CAMBIADOR DE CALOR

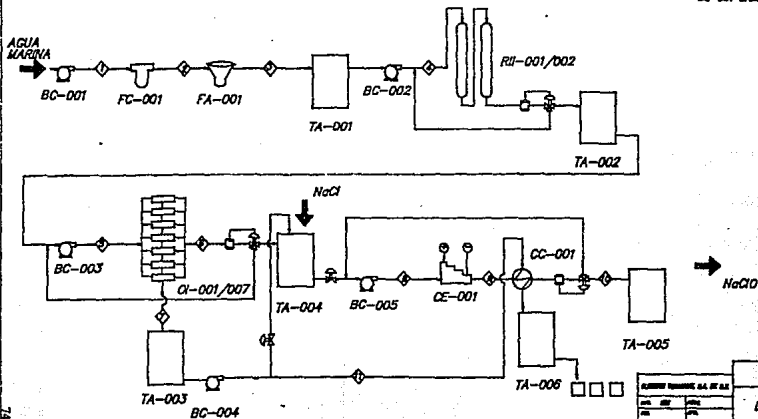


DIAGRAMA DE FLUJO	
FECHA:	
PROYECTO:	
ESCALA:	
HOJA:	

LISTA DE EQUIPO DE PROCESO

EQUIPO	CODIGO	USO	DESCRIPCION	MATERIAL
TANQUE DE		AGUA		
ALMACENAMIENTO	TA-001	DE MAR	CAP 3700 GALONES	FRP ATLAS 382
TANQUE DE				
ALMACENAMIENTO	TA-002	SALMUERA	CAP 1851 GALONES	FRP ATLAS 382
TANQUE DE		AGUA		
ALMACENAMIENTO	TA-003	ULTRAPURA	CAP 1587 GALONES	SS316L PASIF.
TANQUE DE		SALMUERA		
ALMACENAMIENTO	TA-004	CONCENTRADA	CAP 265 GALONES	FRP ATLAS 382
TANQUE DE				
ALMACENAMIENTO	TA-005	NaClO (15%)	CAP 793 GALONES	CS LAINEADO CON FLAKELINE 103
TANQUE DE		AGUA		
ALMACENAMIENTO	TA-006	ULTRAPURA	CAP 3174 GALONES	SS316L PASIF.

BOMBA

CENTRIFUGA	BC-001	AGUA DE MAR	FLUJO	3.853 GPM	HASTALLOY
			POT.	0.05 KW-Hr	
			NPSHr	0.55 ft	
			ΔP	18.7 psi	

BOMBA

CENTRIFUGA	BC-002	SALMUERA	FLUJO	3.853 GPM	HASTALLOY
			POT.	0.016 KW-Hr	
			NPSHr	25.5 ft	
			ΔP	9.8 psi	

BOMBA

CENTRIFUGA	BC-003	SALMUERA	FLUJO	3.853 GPM	HASTALLOY
			POT.	0.92 KW-Hr	
			NPSHr	26.9 ft	
			ΔP	585.3 psi	

BOMBA

CENTRIFUGA	BC-004	AGUA ULTRA- PURA	FLUJO	3.300 GPM	SS 316L
			POT.	0.004 KW-Hr	
			NPSHr	30.05 ft	
			ΔP	0.01 psi	

BOMBA

CENTRIFUGA	BC-005	SALMUERA CONCENTRADA	FLUJO	0.583 GPM	SSE316L
			POT.	0.002 KW-Hr	
			NPSHr	26.57 ft	
			ΔP	4.8 psi	

FILTRO

CANASTA FC-001 AGUA DE MAR FLUJO 3.853 GPM ACERO AL
CARBON

FILTRO

DE ARENA FA-001/R AGUA DE MAR FLUJO 3.853 GPM ACERO AL
CARBON

RESINAS DE
INTERCAMBIO

IONICO RII-001 SALMUERA FLUJO 3.853 GPM
(ANIONICA) LECHO 36 ft²
RESINA AMBERLITE IRA-402
CAP. 1944 g/ft³ RESINA
AREA 12.56 ft²

RESINAS DE
INTERCAMBIO

IONICO RII-002 SALMUERA FLUJO 3.853 GPM
(CATIONICA) LECHO 36 ft²
RESINA AMBERLITE IR-420 PLUS
CAP. 1944 g/ft³ RESINA
AREA 12.56 ft²

OSMOSIS

INVERSA

OI-001

SALMUERA

FLUJO 3.853 GPM

LIBRE DE ME-

LONG 4 ft.

TALES PESADOS

7 CARTUCHOS

MEMBRANAS PERMASEP B-10

RANGO DE MEMBRANA:

7,000 - 60,000 ppm S.D.

EFICIENCIA 99.0 %

P. OSMOTICA 2,022.3 psi

CELDA

ELECTROLI-

TICA

CE-001

SALMUERA

FLUJO 0.55 GPM

(15 % PESO)

CORRIENTE 0.20 Amp

VOLTAJE 110 V

POTENCIA 9.3 KW-Hr/Kg

ELECTRODOS DE PLATINO IRIDIADO

ΔPMAX. 5 psi

CAMBIADOR DE CC-001

NaClO (15%)

TIPO HORIZONTAL DE TUBOS

CALOR

CONCENTRICOS. LONG 7 ft.

FLUJO CONTRACORRIENTE

ΦEXT 2.38 in (2 in IPS)

ΦINT 1.32 in (1 in IPS)

MATERIAL DEL TUBO SS316L

MATERIAL DEL ANULO CS

CRITERIOS DE DISEÑO

Los equipos están diseñados para operar con soluciones acuosas y nunca deben operarse en vacío. La descripción de los criterios de diseño se detalla a continuación por grupos de equipo.

Tanques de almacenamiento :

Se cuenta con 6 tanques de almacenamiento de tipo atmosférico ya que no es necesario que operen a presión o a vacío. Todos deben contar con venteo para evitar el colapsamiento del tanque, tapas sueltas y derrame como equipos de protección.

Los tanques se encuentran con un sobrediseño del 16 %, como medida de seguridad. Todos los tanques están diseñados para manejar líquidos con una temperatura entre 15 y 25°C.

TA-001 :

- Almacena agua de mar libre de materiales en suspensión con una capacidad de 16 horas de operación; el material de construcción deberá ser fibra de resina poliéster (FRP) Atlac 382.

TA-002 :

- Almacena salmuera libre de partículas en suspensión con una capacidad de 8 horas de operación; el material de construcción deberá ser fibra de resina poliéster (FRP) Atlac 382.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

TA-003 :

- Almacena agua ultrapura con una capacidad de 8 horas de operación. El material de construcción deberá ser acero inoxidable (SS)316L pacificado .

TA-004 :

- Almacena salmuera concentrada con una capacidad de 8 horas de operación. El material de construcción deberá ser fibra de resina poliéster (FRP) Atlac 382. para evitar la presencia en el producto de iones metálicos debidos al desgaste del tanque para evita la descomposición del hipoclorito.

TA-005 :

- Almacena hipoclorito de sodio en solución al 15 % en peso con una capacidad de 8 horas de operación. Se recomienda que el material de construcción sea de acero al carbón lamineado con flakeline 103, para evitar la contaminación y descomposición del producto.

TA-006 :

- Almacena agua ultrapura con una capacidad de 16 horas de operación. Se recomienda que el material de construcción sea acero inoxidable (SS)316L pacificado .

Filtros :

FC-001 (filtro tipo canasta) :

- Deberá contar con una malla mesh 100 para evitar el paso de arena fina y materiales en suspensión, debe manejar un flujo de 3.853 GPM.

FA-001 (filtro de arena "verde") :

- Debe ser capaz de manejar un flujo de 3.853 GPM y deberá contar con espacio suficiente para poder llevar a cabo un retrolavado eficiente. Se contará con un sistema duplex para permitir la operación continua.

Bombas :

Todas las bombas son de tipo centrífugo y están diseñadas para manejar fluidos con una viscosidad similar a la del agua. Se recomienda que el material de construcción de las bombas 1, 2 y 3 sean de Hastalloy y las bombas 4 y 5 de acero inoxidable 316L.

La bomba BC-003 maneja salmuera libre de iones metálicos pesados debe ser de multietapas para evitar dañar a las membranas de osmosis inversa.

Resinas de intercambio iónico :

Se recomienda utilizar resinas tipo Amberlite (fabricadas por Rohm and Haas Company).

Resina catiónica : será del tipo IR-120 plus .

Resina aniónica : sera del tipo IRA-402.

Tiene un sobrediseño de altura en el cartucho del 50% para

permitir el retrolavado eficiente de las resinas. (Para mayor información sobre el retrolavado y condiciones de operación ver el anexo de esta tesis).

Características de las resinas :

- Alta capacidad de remoción de orgánicos.
- Obtención de alta pureza de agua.
- Estabilidad en cualquier rango de pH.
- Alta estabilidad física de las resinas.
- Buen manejo para consumos pico.
- Buen desempeño en rangos amplios de temperatura.
- Alta resistencia mecánica.

OI-001 (membranas de ósmosis inversa) :

Deben tener una eficiencia del 99 % y se sobrediseñan de tal forma que se cuenta con un cartucho extra para mantener el flujo deseado de salmuera concentrada en caso de que se requiera reponer un cartucho. La membrana seleccionada es Permasep B-10 de Du Pont, recomendada para el manejo de agua de mar; es una membrana permeadora de poliamida aromática diseñada para salmuera con alta concentración de sal. Presenta las siguientes características :

- Larga vida útil de la membrana.
- Rechazo constante de sales.
- Menor tasa presión-menor consumo de energía.
- Menor tasa de reemplazo.
- Pueden operar continuamente en rangos entre 4 y 11 de pH.
- Necesitan menor control de pH.

- Se pueden limpiar en rangos amplios de pH (entre 2.3 y 11.9).
- El rango normal de operación es de 7,000 a 60,000 ppm de sólidos disueltos totales.
- Presentan resistencia a la abrasión; presentan estabilidad térmica.
- Presentan resistencia al ataque biológico.
- Las incrustaciones ligeras no causan daño a la membrana.
- No se afecta el rechazo de sal por cambios en la temperatura.

Configuración de la membrana :

- Mayor área de membrana por unidad de volumen.
- Menores costos de producción.
- Requieren menos sellos "O-Rings".
- Requieren menor mantenimiento.

CC-001 (cambiador de calor) :

Se recomienda que el material de fabricación del cambiador de calor sea de:

Tubo.- Acero inoxidable SS 316L.

Anulo.-Acero al carbón.

Se diseña un cambiador de calor de tubos concéntricos ya que es suficiente para dar la transferencia de calor requerida. Los flujos se encuentran en contracorriente. Se usará el agua ultrapura obtenida de la ósmosis inversa para enfriar la solución de hipoclorito de sodio.

CE-001 (celda electrolítica) :

La celda electrolítica usada será una celda tipo Kellner fabricada por la "Electrochemical Company", consta de electrodos de grafito y de un gran número de electrodos intermedios. Se encuentra dividida en 6 cámaras para facilitar el flujo en forma de cascada entre una y otra cámara, debe contar con un sistema de recirculación de la salida hacia la entrada de la celda para poder obtener la concentración deseada.

DIMENSIONAMIENTO Y HOJAS DE DATOS

BOMBA CENTRIFUGA BC-001

Servicio: Agua de mar.

T.B. (temperatura de bombeo): 15.0°C aprox.

Sp. Gr. (gravedad específica) @ T.B.: 1.2

P.V. (presión de vapor) @ T.B.:

$$0.2482 \text{ psi} = 0.01746 \text{ Kgf/cm}^2$$

Viscosidad @ T.B.: 1.3 cp

Flujo: 3.853 GPM de salmuera

NPSHa: 0.55 ft-lbf/lb = 0.17 m-Kgf/Kg

NPSHo: 3.55 ft-lbf/lb = 1.06 m-Kgf/Kg

Presión succión: 2.07 psi = 1,460.00 Kgf/m²

Presión descarga: 20.76 psi = 14,660.00 Kgf/m²

ΔP : 18.70 psi = 13,200.00 Kgf/m²

Hs-hidráulico: 57.00 ft-lbf/lb = 17.33 Kgf-m/Kg

Potencia: 0.05 KW-hr

Corrosión/Erosión: causada por salmuera, con sales de calcio y magnesio y con arena.

FILTRO CANASTA FC-001

Se debe utilizar un filtro canasta con malla 100 para retener aquellas impurezas que puedan ser acarreadas en el agua de mar tales como sólidos que se encuentren en suspensión. Debe ser capaz de soportar un flujo de 3.853 GPM.

Máxima caída de presión permisible 1 Kg / cm²

La malla escogida debe ser capaz de retener arena fina.

FILTRO DE ARENA "VERDE" FA-001

Debe ser capaz de manejar un flujo de 3.853 GPM con un tiempo de residencia mínimo de 10 minutos.

Máxima caída de presión permisible 2 atm = 29.4 psi
= 2.068 Kg/cm²

El filtro debe contar con un sistema de aspersores para hacer una distribución uniforme del líquido en el filtro.

TANQUE DE ALMACENAMIENTO TA-001

Servicio: Almacenará agua marina libre de arena, sólidos en suspensión e iones fierro.

Posición: Vertical.

Tipo de fluido: Líquido.

Flujo: 3.853 GPM = 14.583 l/min.

Densidad: 1.2 g/cm³

Temperatura de operación: 15°C, máxima 25°C, Diseño 15°C.

Presión de operación: 1 atm = 1.034 Kg/cm² abs.

Dimensiones: Longitud total del tanque: 3.59 m.

Diámetro: 2.39 m.

Capacidad total. 14,000 l. Nivel normal 3.00 m

Nivel máximo 3.59 m

Nivel mínimo 0.50 m

Alarma alto nivel 3.40 m

Alarma bajo nivel 0.50 m

Nivel de paro 3.40 m

Materiales: Se recomienda FRP Atlac 382.

Tipo: Atmosférico con tapa cónica.

Aislamiento: No

Recubrimiento interno: No

BOMBA CENTRIFUGA BC-002

Servicio: Agua de mar libre de impurezas en suspensión.

T.B. (temperatura de bombeo): 15.0°C aprox.

Sp. Gr. (gravedad específica) @ T.B.: 1.158

P.V. (presión de vapor) @ T.B.:

$$0.2482 \text{ psi} = 0.01746 \text{ Kgf/cm}^2$$

Viscosidad @ T.B.: 1.3 cp

Flujo: 3.853 GPM de salmuera

NPSH_r: 25.5 ft-lbf/lb = 7.75 m-Kgf/Kg

NPSH_d: 28.5 ft-lbf/lb = 8.66 m-Kgf/Kg

Presión succión: 14.70 psi = 10,340.00 Kgf/m²

Presión descarga: 24.50 psi = 17,240.00 Kgf/m²

ΔP : 9.80 psi = 6,893.3 Kgf/m²

HB-hidráulico: 19.74 ft-lbf/lb = 6.005 Kgf-m/Kg

Potencia: 0.016 KW-Hr

Corrosión/Erosión: causada por salmuera, con sales de calcio y magnesio.

CARTUCHOS DE RESINA DE INTERCAMBIO IONICO RII-001

Servicio: agua marina con 5 g/l como CaCO_3 , 5 g/l como MgCO_3 y 10 g/l como NaCl .

Tipo de resina recomendada: Amberlite-IR-120 plus (resina catiónica) y Amberlite-IRA-402 (resina aniónica)

Flujo: 3.853 GPM

Diámetro de cartuchos: 4 ft = 1.22 m

Forma: cilíndrica

Altura de resina: 2.87 ft = 0.874 m

Altura total: 5.74 ft = 1.75 m

Temperatura de operación: 20.0°C

Caida de presión total: 0.574 psi (catiónica más aniónica)

Para mayor información sobre este tipo de resinas; flujo de retrolavado, condiciones de operación y mantenimiento, ver anexo.

TANQUE DE ALMACENAMIENTO TA-002

Servicio: Almacenará agua marina libre de arena, sólidos en suspensión e iones metálicos pesados.

Posición: Vertical.

Tipo de fluido: Líquido.

Flujo: 3.853 GPM = 14.583 l/min.

Densidad: 1.156 g/cm³

Temperatura de operación: 20°C, máxima 25°C, Diseño 20°C.

Presión de operación: 1 atm = 1.034 Kgf/cm² abs.

Dimensiones: Longitud total del tanque: 2.85 m.

Diámetro: 1.90 m.

Capacidad total. 7,000 l. Nivel normal 2.40 m

Nivel máximo 2.85 m

Nivel mínimo 0.50 m

Alarma alto nivel 2.65 m

Alarma bajo nivel 0.50 m

Nivel de paro 2.65 m

Materiales: FRP Atlac 382.

Tipo: Atmosférico con tapa cónica.

Aislamiento: No

Recubrimiento interno: No

BOMBA CENTRIFUGA BC-003

Servicio: Salmuera libre de iones metálicos pesados.

T.B. (temperatura de bombeo): 15.0°C aprox.

Sp. Gr. (gravedad específica) @ T.B.: 1.116

P.V. (presión de vapor) @ T.B.:

$$0.2482 \text{ psi} = 0.01746 \text{ Kg/cm}^2$$

viscosidad @ T.B.: 1.3 cp

Flujo: 3.853 GPM de salmuera

NPSHR: 26.91 ft-lbf/lb = 8.176 m-Kgf/Kg

NPSHd: 29.91 ft-lbf/lb = 9.087 m-Kgf/Kg

Presión succión: 14.70 psi = 10,340.00 Kg/m²

Presión descarga: 600.00 psi = 422,040.0 Kg/m²

ΔP : 585.30 psi = 411,700.0 Kg/m²

HB-hidráulico: 1,140 ft-lbf/lb = 347 Kg-m/Kg

Potencia: 0.922 KW-Hr

Corrosión/Erosión: causada por salmuera, con sales de calcio y magnesio.

BOMBA CENTRIFUGA BC-004

Servicio: Agua ultrapura.

T.B. (temperatura de bombeo): 15.0°C aprox.

Sp. Gr. (gravedad específica) @ T.B.: 1.0

P.V. (presión de vapor) @ T.B.: 0.25 psi

viscosidad @ T.B.: 1.0 cp

Flujo: 3.3 GPM de agua ultrapura

NPSHR: 30.05 ft-lbf/lb = 9.13 m-Kgf/Kg

NPSHD: 33.05 ft-lbf/lb

Presión succión: 14.70 psi = 10,340.00 Kgf/m²

Presión descarga: 14.71 psi = 10,350.00 Kgf/m²

ΔP : 0.01 psi = 10 Kgf/m²

HB-hidráulico: 6.603 ft-lbf/lb = 2.01 Kgf-m/Kg

Potencia: 0.004 KW-Hr

Corrosión : causada por agua ultrapura

CARTUCHOS DE MEMBRANAS DE OSMOSIS INVERSA OI-001

Flujo: 3.853 GPM

Presión Osmótica: 2,022.32 psi

Presión de operación: 4,044.64 psi

Presión de operación máxima permisible: 300 psi/ft de
membrana

Número de cartuchos: 7

Longitud de los cartuchos: 3 ft

Temperatura de operación: 15.0°C

Concentración en el rechazo 0.55 GPM = 2.08 l/min

Cantidad de agua ultrapura: 3.3 GPM = 12.5 l/min

BOMBA CENTRIFUGA BC-005

Servicio: Salmuera concentrada

T.B. (temperatura de bombeo): 15.0°C aprox.

Sp. Gr. (gravedad específica) @ T.B.: 1.116

P.V. (presión de vapor) @ T.B.: 0.2371 psi

viscosidad @ T.B.: 1.3 cp

Flujo: 0.583 GPM de agua ultrapura

NPSHr: 26.57 ft-lbf/lb = 8.07 m-Kgf/Kg

NPSHb: 29.57 ft-lbf/lb

Presión succión: 14.70 psi = 10,340.00 Kgf/m²

Presión descarga: 19.50 psi = 13,857.00 Kgf/m²

ΔP : 4.80 psi = 3,517 Kgf/m²

HB-hidráulico: 16.92 ft-lbf/lb = 5.15 Kgf-m/Kg

Potencia: 0.002 KW-Hr

Corrosión : causada por salmuera concentrada.

CELDA ELECTROLITRICA TIPO KELLNER CE-001

Esta celda, es una celda comercial; existen fabricantes que se dedican a la manufactura de esta por lo que las especificaciones estan dadas por los fabricantes.

Flujo: 0.55 GPM = 2.083 l/m

Corriente: 0.20 Amperes

Voltaje: 110 Volt

Potencia: 9.3 KW-Hr/Kg de cloro producido

Nota: Se usaran 10 KW-Hr para mejorar el rendimiento y con recirculación de licor para obtener la concentración deseada.

Caida máxima de presión: 5 psi = 3,517 Kgf/m²

Materiales:

Electrodos de platino iridiado

Separación entre electrodos 0.2 plg

Baffles separadores, laminas de vidrio

CAMBIADOR DE CALOR CC-001

Servicio: Enfriamiento de hipoclorito de sodio formado en la celda electrolítica.

Tipo: Cambiador de calor horizontal de tubos concéntricos

Calor en BTU/Hr: 3,315.6

Fluido: hipoclorito de sodio al 15 % por el ánulo
 agua ultrapura por el tubo

Flujo total: 307 lb/Hr de hipoclorito

Líquido de enfriamiento: Agua ultrapura

Flujo: 1,650 lb/Hr

	FLUIDO CALIENTE (anulo)	FLUIDO FRIO (tubo)
	hipoclorito de sodio	agua ultrapura
Tubo:	1 plg IPS	2 plg IPS
Φinterno	1.049 plg	2.067 plg
Φexterno	1.32 plg	2.38 plg
Aflujo	0.003038 ft ²	0.006 ft ²
Deq.	0.1595 ft	
G	101,053 lb-Hr/ft ²	275,000 lb-Hr/ft ²
Rd	0.001	0.001

Uc: 116.68

Ud: 94.607

Longitud del cambiador de calor: 7 ft

ΔP: $7.226 * 10^{-3}$ psi

TANQUE DE ALMACENAMIENTO TA-003

Servicio: Almacenará agua ultrapura.

Posición: Vertical.

Tipo de fluido: Líquido.

Flujo: 3.300 GPM = 12.49 l/min.

Densidad: 1.0 g/cm³

Temperatura de operación: 20°C, máxima 25°C, Diseño 20°C.

Presión de operación: 1 atm = 1.034 Kg/cm² abs.

Dimensiones: Longitud total del tanque: 2.71 m.

Diámetro: 1.81 m.

Capacidad total. 6,000 l. Nivel normal 2.30 m

Nivel máximo 2.71 m

Nivel mínimo 0.50 m

Alarma alto nivel 2.55 m

Alarma bajo nivel 0.50 m

Nivel de paro 2.55 m

Materiales: Se recomienda acero inoxidable (SS) 316L
pacificado.

Tipo: Atmosférico con tapa cónica.

Aislamiento: No

Recubrimiento interno: No

TANQUE DE ALMACENAMIENTO TA-004

Servicio: Almacenará salmuera concentrada.

Posición: Vertical.

Tipo de fluido: Líquido.

Flujo: 0.553 GPM = 2.20 l/min.

Densidad: 1.116 g/cm³

Temperatura de operación: 20°C, máxima 25°C, Diseño 20°C.

Presión de operación: 1 atm = 1.034 Kgf/cm² abs.

Dimensiones: Longitud total del tanque: 1.50 m.

Diámetro: 1.00 m.

Capacidad total. 1,000 l. Nivel normal 1.26 m

Nivel máximo 1.50 m

Nivel mínimo 0.30 m

Alarma alto nivel 1.35 m

Alarma bajo nivel 0.30 m

Nivel de paro 1.35 m

Materiales: Se recomienda FRP Atlac 382.

Tipo: Atmosférico con tapa cónica.

Aislamiento: No

Recubrimiento interno: No.

TANQUE DE ALMACENAMIENTO TA-005

Servicio: Almacenará solución de hipoclorito al 15% en peso.

Posición: Vertical.

Tipo de fluido: Líquido.

Flujo: 0.553 GPM = 2.20 l/min.

Densidad: 1.116 g/cm³

Temperatura de operación: 20°C, máxima 25°C, Diseño 20°C.

Presión de operación: 1 atm = 1.034 Kgf/cm² abs.

Dimensiones: Longitud total del tanque: 2.15 m.

Diámetro: 1.43 m.

Capacidad total. 3,000 l. Nivel normal 1.80 m

Nivel máximo 2.15 m

Nivel mínimo 0.50 m

Alarma alto nivel 2.00 m

Alarma bajo nivel 0.50 m

Nivel de paro 2.00 m

Materiales: Se recomienda acero al carbón laineado con Flakeline 103.

Tipo: Atmosférico con tapa cónica.

Aislamiento: No

Recubrimiento interno: Flakeline 103.

TANQUE DE ALMACENAMIENTO TA-006

Servicio: Almacenará agua ultrapura.

Posición: Vertical.

Tipo de fluido: Líquido.

Flujo: 3.3 GPM = 12.49 l/min.

Densidad: 1.0 g/cm³

Temperatura de operación: 20°C, máxima 25°C, Diseño 20°C.

Presión de operación: 1 atm = 1.034 Kg/cm² abs.

Dimensiones: Longitud total del tanque: 3.41 m.

Diámetro: 2.26 m.

Capacidad total. 12,000 l. Nivel normal 2.86 m

Nivel máximo 3.41 m

Nivel mínimo 0.50 m

Alarma alto nivel 3.10 m

Alarma bajo nivel 0.50 m

Nivel de paro 3.10 m

Materiales: acero inoxidable (SS)316L pacificado .

Tipo: Atmosférico con tapa cónica.

Aislamiento: No

Recubrimiento interno: No

FILOSOFIA DE OPERACION

A la succión de la bomba BC-001 debe existir una rejilla para evitar el paso de materia en suspensión demasiado grande, peces, y todo aquello que pueda dañar a la bomba.

En general debe contemplarse la posibilidad de colocar o instalar bombas de relevo principalmente en la bomba BC-003, BC-002 y BC-005.

Todos los tanques contarán con alarmas de bajo y alto nivel para evitar que las bombas trabajen en vacío o bien que haya derrames de los tanques, para esto es necesario la instalación de flotadores o bien de interruptores de nivel.

El filtro canasta debe contar con una canasta de relevo para permitir la limpieza de esta.

El filtro de arena debe tener un difusor de flujo para permitir una distribución uniforme del flujo, debe contar con una línea para que se lleve a cabo el retrolavado; en los periodos de mantenimiento se debe cambiar la arena para evitar saturación de la misma y pérdida de eficiencia. Se considera instalar un sistema duplex para permitir la operación continua del proceso.

A la salida del proceso de intercambio iónico, se debe instalar una celda conductimétrica, la cual detecte el momento en el cual la concentración de iones metálicos pesados rebase el nivel máximo permitido, de forma tal que mande una señal a una válvula neumática que permita la recirculación de la salmuera hacia las resinas; a una concentración mayor debe parar

el proceso para que se lleve a cabo la regeneración de las resinas y el retrolavado. Así mismo se debe instalar un sistema para el retrolavado y la regeneración de las resinas.

A la salida del proceso de ósmosis inversa se debe colocar una celda conductimétrica que indique el momento en que el proceso ha perdido eficiencia y mande señal a una válvula para controlar la concentración de la salmuera mediante una recirculación a la entrada de los cartuchos.

En la celda electrolítica se debe contar con una recirculación hacia la entrada de la misma para poder llevar la concentración del hipoclorito hasta la deseada (15% en peso).

Del tanque TA-003 el cual almacena agua ultrapura, debe existir la posibilidad de mandar agua al tanque TA-004 para controlar la concentración de la salmuera, así mismo, el tanque TA-004 debe tener la flexibilidad para preparar salmuera al 15% ya sea mediante la adición de sal grado alimenticio en grano o mediante el proceso en sí.

El tanque TA-006 debe tener una descarga de forma tal que permita el llenado de garrafones directamente del tanque ya sea por gravedad o la instalación de una bomba de llenado.

1.-¹⁰ El electrolito debe ser neutro, ya que un pH ácido producirá ácido Hipocloroso de acuerdo a la ecuación (10) y este ácido descompondrá el hipoclorito conforme a la ecuación (11).

2.- La concentración del cloruro de sodio en el electrolito debe ser alta, esto reduce la resistencia de la celda y la solución de hipoclorito será más fuerte mientras más alta sea la concentración de cloruro de sodio y más fácilmente se descargarán los iones Cl^- obteniendo así una mayor producción de hipoclorito.

3.- La celda debe ser diseñada para permitir una difusión estable sobre el ánodo, esto permite un empobrecimiento de ClO^- en el ánodo y por lo tanto su descarga se reducirá conforme a las ecuaciones (6) y (7).

4.-La celda debe estar operada a baja temperatura, puesto que la descomposición del hipoclorito por el ácido hipocloroso (ecuación (9)) la descarga de iones OH^- ecuación (5) y la de iones ClO^- ecuación (6) proceden a menor velocidad a bajas temperaturas. Las operaciones a bajas temperaturas requieren

¹⁰ Las ecuaciones a las que se hace referencia, se encuentran en la sección de "Descripción de la Ruta Química" en esta tesis, en las bases teóricas de la electrólisis de haluros alcalinos.

enfriamiento artificial por lo que no se usan generalmente (la temperatura en la celda nunca debe ser mayor a 40°C).

5.- El cromato de potasio K_2CrO_4 o el rojo de Turquía más $CaCl_2$ pueden ser añadidos para prevenir la interacción del hipoclorito y el hidrógeno naciente (ecuación (11)), pero si se va a usar la solución de hipoclorito para blanqueo, el cromato de potasio es objetable tomando en cuenta su color.

6.- La celda debe ser operada a una densidad de corriente alta, Esto produce una mayor concentración de hipoclorito. La razón es probablemente que, los iones Cl^- se descargan mas rápido, la difusión es más fuerte y la descarga de ClO^- es menor.

Una alta densidad de corriente, sin embargo, aumenta la temperatura de la celda y las ventajas de operar a una baja temperatura se pierden.

7.- Experimentos han demostrado que los electrodos platinados rinden una mayor concentración de hipoclorito que ningún otro electrodo.

Pravsnitz tuvo éxito en obtener 100 g/l de cloro activo con electrodos de platino, los métodos comerciales actuales normalmente rinden concentraciones mucho menores de ese valor. Debido a su costo, los electrodos de platino no se usan comercialmente.

ANALISIS DE LA INVERSION

CALCULO DE LA INVERSION INICIAL DE LA PLANTA

COSTEO DE EQUIPO

La estimación de los costos está realizada en función de las características relevantes de cada uno de los quipos involucrados como son : dimensiones, potencias, capacidades, flujos, materiales, etc. los cuales han sido cotizados con proveedores nacionales, excepto para el caso de la celda ya que no existen proveedores nacionales de este equipo, los precios se encuentran cotizados en moneda nacional a precios de Octubre de 1992.

EQUIPO	DESCRIPCION	COSTO EN M.N.
TA-001	TANQUE ALM. AGUA DE MAR	\$ 30'000,000
TA-002	TANQUE ALM. SALMUERA	\$ 17'000,000
TA-003	TANQUE ALM. AGUA ULTRAPURA	\$ 18'000,000
TA-004	TANQUE ALM. SALM. CONC.	\$ 8'000,000
TA-005	TANQUE ALM. NaClO (15%)	\$ 15'000,000
TA-006	TANQUE ALM. AGUA ULTRAPURA	\$ 36'000,000
BC-001	BOMBA C. PARA AGUA DE MAR	\$ 25'000,000
BC-002	BOMBA C. PARA SALMUERA	\$ 25'000,000
BC-003	BOMBA C. PARA SALMUERA	\$ 25'000,000

BC-004	BOMBA C. PARA AGUA ULTRAPURA	\$ 15'000,000
BC-005	BOMBA C. PARA SALM. CONC.	\$ 10'000.000
FC-001	FILTRO CANASTA	\$ 5'000,000
FA-001	FILTRO DE ARENA	\$ 20'000,000
RII-001(002)	RESINAS DE INTERCAMBIO	\$ 70'000,000
OI-001	EQUIPO OSMOSIS INVERSA	\$ 60'000,000
CE-001	CELDA TIPO KELLNER	\$150'000,000
CC-001	CAMBIADOR DE CALOR	\$ 25'000,000
	COSTO TOTAL EQUIPO OCTUBRE, 1992	\$554'000,000
	+ 10% POR EQUIPO ADICIONAL COMO MOTORES	\$609'400,000
	+ 5% TRANSPORTACION L.A.B. PLANTA	\$640'000,000
	+ TAX AD VALORUM POR LA IMPORTACION DE LA CELDA (20%) Y TRANSPORTACION FRONTERA-PLANTA (5%)	(\$ 37'500,000.00).
		677'500,000

CALCULO DEL ACTIVO FIJO

(La determinación del activo fijo se realizó en base a porcentajes recomendados en la literatura (Ref. bibliografica No. 20)

A.- Inversión inicial por concepto de equipos	\$ 677'500,000.00
B.- Costo instalación del equipo (20% A)	\$ 135'500,000.00
C.- Costo por instrumentación y control (18% A)	\$ 121'950,000.00
D.- Costo por tubería (instalada) (20% A)	\$ 135'500,000.00
E.- Costo por instalación eléctrica (11% A)	\$ 74'525,000.00

F.- Costo por edificio (incluye servicios) (18% A)	\$ 121'950,000.00
G.- Costo por mejoras de campo (10% A)	\$ 67'750,000.00
H.- Costo por servicios auxiliares (3% A)	\$ 20'325,000.00
I.- Costo por compra de propiedad (6% A)	\$ 40'650,000.00
COSTO DIRECTO TOTAL PLANTA	\$1,395'650,000.00
J.- Ingeniería y supervisión (15% A)	\$ 101'625,000.00
K.- Gastos de construcción (41% A)	\$ 277'775,000.00

COSTO INDIRECTO TOTAL PLANTA \$ 379'400,000.00

COSTO TOTAL PLANTA \$ 1,775'050,000.00

L.- Contingencias (42% A) \$ 284'550,000.00

INVERSION DE CAPITAL FIJO \$ 2,059'600,000.00

CALCULO DEL CAPITAL DE TRABAJO

Costo de Materia Prima	\$ 0.00
Pagos Mensuales. (salarios * 1.5)	\$ 33'300,000.00
Producto Terminado (considerando 15 dias de inventario)	\$ 152'722,665.00
(NaClO sol. + H2O dest.)	
TOTAL:	\$ 186'022,665.00
Factor de Seguridad * 1.5	\$ 279'033,998.00
INVERSION TOTAL	\$2,338'633,000.00

ACTIVO DIFERIDO:

El activo diferido se considera como un 5% del activo fijo.

\$102'980,000.00

COSTOS DIRECTOS DE PRODUCCION:

Los costos directos de producción se clasifican en:

a) Costo de Materia Prima.	\$	0.00
b) Costo de Mano de Obra. (anual).	\$	244'550,000.00
c) Costos de Supervisión. (anual).	\$	25'550,000.00
d) Costos de Servicios Auxiliares.	\$	25'200,000.00
e) Mantenimiento y Reparación. (1% A.Fijo).	\$	20'596,000.00
f) Provisiones para la operación. (10% (e))	\$	2'059,600.00
g) Laboratorio. (1% (c))	\$	2,604,000.00

Total Anual: \$ 320'509,600.00

GASTOS FIJOS DE PRODUCCION**A) Depreciación**

EQUIPO: (10% del Activo Fijo)	\$	205'960,000.00
EDIFICIO: (3% del costo inicial)	\$	3'658,500.00

Total: \$ 209'618,500.00

B) Amortización:

En base a la ley del impuesto sobre la renta, se considera un 10% (del activo diferido) de deducción anual. \$ 10'298,000.00

C) Seguro de la planta: Se considera un 1% de la inversión total fija.

\$ 20'596,000.00

D) Impuestos locales:

El pago del impuesto predial es 1.2% del valor catastral del terreno

incluyendo edificaciones. \$ 1'951,200.00

Total Gastos Fijos: \$ 242'463,700.00

COSTOS INDIRECTOS DE PRODUCCION:

Se considera el 50% mano de obra mas mantenimiento y supervisión.

\$ 145'348,000.00

GASTOS GENERALES:

Dentro de gastos Generales se consideran los gastos administrativos y los gastos de distribución y mercadeo.

GASTOS ADMINISTRATIVOS:

Considera los salarios del personal administrativo y empleados (Implica 30% de la mano de obra). \$ 73'365,000.00

GASTOS DE DISTRIBUCION Y MERCADEO:

Se considera un 70 % del costo indirecto de producción.

\$ 101'743,600.00

TOTAL: \$ 175'108,600.00

GASTOS DE FINANCIAMIENTO:

El financiamiento será obtenido a través de un crédito otorgado por Nacional Financiera en forma conjunta con una Entidad de Fomento o bien junto con un banco. En este caso se manejará a través de Nacional Financiera y Banca Confia aportando el primero el 85 % del monto total del crédito solicitado y Banca Confia el 15 %.

Se solicitará un total de \$ 1,600'000,000.00 (mil seiscientos millones de pesos) equivalente al 68.41 % del total de la inversión total necesaria para la instalación, arranque y operación en las primeras etapas del proyecto.

Las condiciones en las cuales se otorgará el crédito son las siguientes :

- ** Monto total del credito \$ 1,600'000,000.00 pesos
- ** Tasa de interes anual CPP + 6 puntos = 26.86 %

Para fines del cálculo del pago de capital e intereses se consideró el CPP (Costo Porcentual Promedio) del mes de Octubre de 1992, el cual fue de 20.86 % (Fuente : Banamex).

- ** Plazo: 3 años incluyendo 6 meses de gracia

Para este crédito Nacional Financiera aportara 85 % del monto correspondiente a \$ 1,360'000,000.00 (mil trescientos sesenta millones de pesos) y Banca Confia aportará el 15 % del monto correspondiente a \$ 240'000,000.00 (doscientos cuarenta millones de pesos).

BALANCE DE PAGOS DEL FINANCIAMIENTO**Resumen anual**

A Ñ O	MONTO TOTAL A PAGAR INCLUYENDO INTERESES
PRIMER	\$ 665'229,366.00 pesos
SEGUNDO	\$ 839'162,736.00 pesos
TERCERO	\$ 839'162,736.00 pesos

BALANCE DE RESULTADOS

CONSIDERACIONES TOMADAS PARA EL BALANCE :

VENTAS ANUALES

VENTAS DE HIPOCLORITO DE SODIO EN SOLUCION AL 15 % EN PESO

-PRODUCCION DIARIA DE NaClO (15% PESO) 3,348 Kg / DIA(24 HORAS)

-FACTOR DE SERVICIO 85.5 % (312 DIAS DE OPERACION AL AÑO)

-PRECIO DE VENTA \$ 1,593.00 / Kg + IVA

VENTA ANUAL \$ 1,664'009,568.00

VENTAS DE AGUA OSMOTIZADA

-PRODUCCION DIARIA DE H₂O 17,956.1 Kg / DIA(24 HORAS)

-PRECIO DE VENTA \$ 270 / Kg + IVA

VENTA ANUAL \$ 1,512'625,234.00

TOTAL DE LAS VENTAS ANUALES \$ 3,176'634,802.00**DISTRIBUCION DE PERSONAL NO ADMINISTRATIVO Y SALARIOS MENSUALES**

PUESTO	No. EMPLEADOS	SALARIO DIARIO
OPERADOR NIVEL 1	12	\$ 13,000
OPERADOR NIVEL 2	4	\$ 16,000

OPERADOR NIVEL 3	4	\$ 18,000
ALMACENISTA	4	\$ 16,000
TECNICOS	4	\$ 30,000
COORDINADOR	4	\$ 48,500
SUPERINTENDENTE	1	\$ 70,000
TOTAL DIARIO		\$ 740,000
TOTAL ANUAL		\$ 270'100,000

BALANCE DE RESULTADOS

ANO	VENTAS TOTALES	MATERIAS PRIMAS	SERVICIOS AUXILIARES	MANO DE OBRA	SUPERVISION	MANUTENIMIENTO REPARACION	PROVISION DE OPERACION	LABORATORIO	COSTOS IND. PRODUCCION
1993	43,077,725,248	40	425,200,000	4244,850,000	425,550,000	420,596,000	42,089,600	42,604,000	4145,348,000
1994	43,334,099,761	40	427,299,160	4264,921,015	427,678,215	422,311,647	42,231,165	42,820,913	4182,450,469
1995	43,590,492,033	40	425,398,465	4285,293,441	429,806,777	424,027,412	42,402,741	43,037,841	4195,480,910
1996	43,846,853,164	40	431,497,516	4305,663,393	431,934,931	425,742,970	42,574,297	43,254,743	4210,509,647
1997	44,103,053,525	40	433,595,250	4326,020,575	434,061,851	427,457,451	42,745,745	43,471,509	4224,529,590
1998	44,359,494,434	40	435,694,954	4346,396,861	436,190,717	429,173,542	42,917,354	43,688,479	4238,562,689
1999	44,615,832,706	40	437,793,617	4366,794,996	438,316,731	430,689,946	43,088,995	43,905,361	4252,590,175
2000	44,872,011,422	40	439,891,374	4387,120,453	440,443,420	432,603,283	43,260,329	44,122,109	4266,608,930
2001	45,130,228,027	40	442,005,616	4407,637,837	442,589,028	434,331,257	43,433,126	44,340,580	4280,739,203
2002	45,130,228,027	40	442,005,616	4407,637,837	442,589,028	434,331,257	43,433,126	44,340,580	4280,739,204
2003	45,130,228,027	40	442,005,616	4407,637,837	442,589,028	434,331,257	43,433,126	44,340,580	4280,739,204
2004	45,130,228,027	40	442,005,616	4407,637,837	442,589,028	434,331,257	43,433,126	44,340,580	4280,739,204

BALANCE DE RESULTADOS

ANO	GASTOS FIJOS	GASTOS GENERALES	GASTOS DE FINANCIAMIENTO	TOTAL DE EGRESOS	UTILIDAD OPERACIONAL	IMPUESTOS (4 2 %)	REPARTO DE UTILIDADES	UTILIDAD NETA
1993	4209,618,500	4175,108,600	4665,229,366	41,515,864,066	41,561,861,102	4655,981,696	4156,155,506	4749,723,980
1994	4227,079,721	4189,695,144	4693,162,736	41,839,450,287	41,494,449,474	4627,668,779	4149,415,656	4717,365,039
1995	4244,542,132	4204,282,703	4693,162,736	41,912,475,180	41,678,056,853	4704,783,878	4167,772,795	4605,500,179
1996	4262,002,461	4218,868,488	4723,445,129	41,992,048,477	42,754,804,667	41,157,017,960	4275,425,473	41,322,360,234
1997	4279,451,825	4233,445,129	4752,607,412	42,074,106,016	42,927,274,659	41,234,075,356	4293,769,876	41,410,429,426
1998	4296,917,564	4248,035,450	4781,769,896	42,155,922,462	43,121,916,824	41,311,205,066	4312,130,493	41,498,581,265
1999	4314,376,317	4262,619,935	4810,929,381	42,236,918,733	43,305,488,534	41,388,303,924	4330,483,766	41,588,697,844
2000	4331,824,203	4277,195,341	4840,084,866	42,316,108,910	43,489,939,981	41,465,354,792	4348,825,615	41,674,759,574
2001	4349,410,885	4291,825,694	4869,240,351	42,396,387,146	43,673,853,800	41,543,018,596	4367,213,372	41,763,521,831
2002	4367,025,627	4291,825,694	4869,240,351	42,471,612,823	43,857,772,619	41,620,797,410	4385,702,249	41,848,075,370
2003	4384,640,369	4291,825,694	4869,240,351	42,546,347,227	44,041,691,438	41,698,576,228	4404,191,126	41,932,505,314
2004	4402,255,111	4291,825,694	4869,240,351	42,621,071,631	44,226,663,257	41,773,455,046	4423,182,002	42,019,477,255

BALANCE DE RESULTADOS

*** NOTA : (1) LAS VENTAS NETAS CONSIDERAN LA VENTA TANTO DE SOLUCION DE HIPOCLORITO DE SODIO AL 15% COMO LA DE AGUA OSMOTIZADA LA CUAL SERA CONSIDERADA COMO AGUA DESTILADA PARA FINES DE PRECIO

(2) PRECIO DE VENTA DEL NaClO EN SOL. AL 15%
 \$ 1'500,000 POR TONELADA; PRECIO DE VENTA DEL AGUA OSMOTIZADA, \$ 270 / LITRO

**CALCULO DEL FLUJO NETO DE EFECTIVO (F.N.E.)
Y DEL VALOR PRESENTE NETO (V.P.N.)**

ANO	UTILIDAD NETA	DEPRECIACION	F.N.E.	V.P.N.
1993	\$749,723,980	\$209,618,500	\$959,342,480	\$959,342,480
1994	\$717,365,039	\$209,618,500	\$926,983,539	\$1,690,056,290
1995	\$805,500,177	\$209,618,500	\$1,015,118,679	\$2,320,821,025
1996	\$1,322,360,234	\$209,618,500	\$1,531,978,734	\$3,071,196,473
1997	\$1,410,429,426	\$209,618,500	\$1,620,047,926	\$3,696,696,951
1998	\$1,498,581,265	\$209,618,500	\$1,708,199,765	\$4,216,593,330
1999	\$1,586,697,844	\$209,618,500	\$1,796,316,344	\$4,647,550,765
2000	\$1,674,759,574	\$209,618,500	\$1,884,378,074	\$5,003,916,006
2001	\$1,763,521,831	\$209,618,500	\$1,973,140,331	\$5,298,060,224
2002	\$1,763,521,831	\$209,618,500	\$1,973,140,331	\$5,529,925,445
2003	\$1,763,521,831	\$209,618,500	\$1,973,140,331	\$5,712,697,966
2004	\$1,763,521,831	\$209,618,500	\$1,973,140,331	\$5,856,772,159

*** NDTA : LA DEPRECIACION INCLUYE EL 10% DEL COSTO DEL EQUIPO
MAS EL 5 % DEL COSTO DE LOS EDIFICIOS

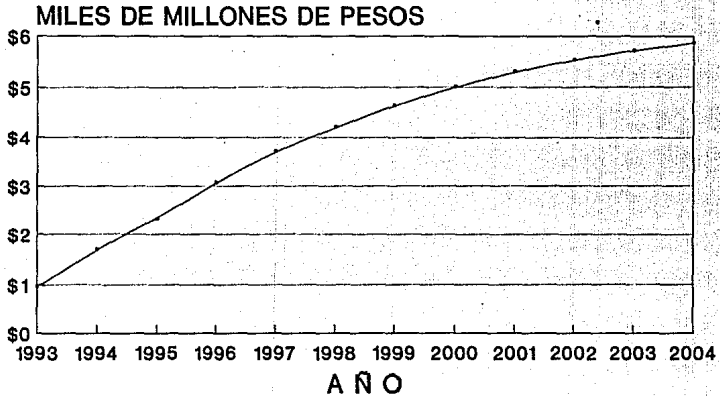
SE CALCULO EL FLUJO NETO DE EFECTIVO DESCONTADO

F.N.E. UTILIDAD NETA + DEPRECIACION

UTILIDAD NETA = UTILIDAD OPERACIONAL - (IMPUESTOS + REP. DE UTILIDADES)

V.P.N. = F.N.E. / (1 + i)^n

ANALISIS ECONOMICO VALOR PRESENTE NETO



— VALOR PRESENTE NETO

CONCLUSIONES

Habiendo concluido los cálculos técnico-económicos que implican el desarrollo del presente anteproyecto, podemos llegar a las siguientes conclusiones :

1 .- El proyecto resulta ser tecnológicamente factible ya que implica la agrupación de métodos de proceso ya probados en diversas instalaciones lo cual nos asegura su funcionamiento.

El proceso propuesto representa una alternativa adicional a las ya existentes para la obtención del hipoclorito de sodio en solución, teniendo como ventajas adicionales las siguientes :

a) Se puede obtener hipoclorito de sodio en solución al 15 % en peso; siendo que en la mayoría de los procesos utilizados en la actualidad se obtienen soluciones hasta el 13 % en peso.

b) La materia prima a partir de la cual se obtendría el NaClO es agua de mar, lo cual implica que no habría problemas de abasto; una ventaja adicional es que esta materia prima es gratuita.

c) El proceso propuesto tiene la flexibilidad de que en caso de alguna emergencia o falla en las primeras etapas del

mismo, el hipoclorito puede ser procesado a partir de una solución de salmuera la cual puede ser producida en las mismas instalaciones utilizando el agua ultrapura del mismo proceso y NaCl sólido.

d) La disposición de los equipos propuestos está en forma de bloques pensando en futuras ampliaciones de la fábrica, ya que para duplicar la producción de hipoclorito, bastaría con instalar otra celda electrolítica tipo Kellner y ampliar el equipo de ósmosis inversa así como el instalar tanques de almacenamiento más grandes o bien poner tanques en serie en las etapas en las que se requiera.

e) La planta propuesta en este proyecto puede funcionar independientemente o bien fusionarse a alguna planta procesadora de papel ya existente para hacerla autosuficiente en el abasto de esta importante materia prima utilizada para el blanqueo de pulpa. Teniendo como limitante el hecho de que esté cerca del mar o bien de alguna laguna de agua salada.

f) Durante el proceso de tratamiento del agua de mar, específicamente durante la etapa de ósmosis inversa se obtiene como producto adicional agua ultrapura la cual es utilizada en el cambiador de calor para enfriar la solución ya formada de hipoclorito de sodio. El agua ultrapura será vendida como agua destilada y potable para diversos usos.

g) La producción de hipoclorito de sodio no presenta la problemática de ser una empresa contaminante ya que el único subproducto que se obtiene es agua ultrapura, la cual será utilizada para fines internos de la planta y comercializada posteriormente. No se emite ningún contaminante a la atmósfera puesto que la producción del hipoclorito implica el poner en contacto el Cl_2 y el NaOH formados en el interior de la celda para formar el NaClO además de que no se requiere de ningún tipo de combustión o uso de solventes volátiles dañinos.

2.- El proyecto resulto ser económicamente factible por las siguientes razones :

a) La materia prima a partir de la cual se obtiene el hipoclorito de sodio es agua de mar, por lo que su obtención no resulta ser problemática, es gratuita y prácticamente ilimitada. No hay reglamentaciones en cuanto al uso del agua de mar para fines productivos, lo cual trae como consecuencia que no se requiere de permisos especiales para su uso, requiriéndose únicamente el Manifiesto de Impacto Ecológico para poder utilizarla.

b) El agua ultrapura obtenida como subproducto de la elaboración del hipoclorito de sodio, es utilizada como parte del proceso de enfriamiento del NaClO recién salido de la celda electrolítica y, posteriormente almacenada para ser vendida como

agua bidestilada. De la venta de este subproducto se obtienen importantes ingresos para el desarrollo de la planta.

c) La inversión inicial total de una planta de este tipo es de \$ 2,338 Millones de pesos.

de los cuales \$1,600 millones serán cubiertos a través de un financiamiento solicitado a Nacional Financiera (NAFIN) en conjunto con una entidad de fomento o un banco, en este caso Banca Confia, el cual será liquidado en un plazo de tres años incluidos seis meses de periodo de gracia con una tasa de CPP + 6 pts. sobre saldos insolutos (Se tomó como referencia el CPP de Octubre de 1992 el cual fue de 20.86 %) . El resto del capital inicial será financiado por socios capitalistas.¹¹

d) Como una medida de rentabilidad del proyecto, se calculó el valor presente neto considerando un horizonte de planeación de 10 años. Como resultado de este análisis se obtuvo un valor presente neto (VPN) positivo desde el primer año y llegando a \$5,712'697,966 a los 10 años.

¹¹Fuentes consultadas: Nacional Financiera y Banca Confia.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Apuntes de Ingeniería Económica II.

Ing. José Guerra.

- 2.- Apuntes de Ingeniería Química III y IV.

Ing. Claudio Aguilar Martínez.

- 3.- Apuntes de Ingeniería de Procesos.

Ing. Claudio Aguilar Martínez.

- 4.- Apuntes de Tecnología de Servicios.

Ing. Mandoki.

- 5.- Kraft, F.

BLEACHING OF CHEMICAL PULP

- 6.- Considine

CHEMICAL AND PROCESS TECHNOLOGY ENCYCLOPEDIA

McGraw-Hill

- 7.- Perry, R. & Chilton, C.

CHEMICAL ENGINEERING HANDBOOK

McGraw-Hill Kogakusha, Ltd. International Student Edition

Quinta edición

Jap. (1973)

8.- Sconce, J. S.

CHLORINE, ITS MANUFACTURES, PROPERTIES AND USES

American Chemical Society, Monograph Series

Reinhold Publishing Corp.

(1962)

9.- Livvy, C. E.

CIENCIA Y TECNICA SOBRE PULPA Y PAPEL

Editorial CECSA, Vol. I

10.- DIRECTORY OF CHEMICAL PRODUCERS

Chemical Information Services, Ltd. Publisher

(1989/1990) Edition

11.- Greighton and Koehler

ELECTROCHEMISTRY

Applications (Volume II)

Segunda Edición

12.- Blucher

ENCICLOPEDIA DE QUIMICA INDUSTRIAL

Editorial Tecnos

18a Edición

13.- Thorpe

ENCICLOPEDIA DE QUIMICA INDUSTRIAL

The University Society, Volumen II, parte II

N.Y.

14.- Othmer, Kirk

ENCYCLOPEDIA OF CHEMICAL TECHNOLOGY

Ed. John Wiley & Sons

Tercera Edición, Volumen III

15.- Folletos Técnicos sobre Resinas de Intercambio Iónico

IRA-402 e IR-120 plus

Rohm and Hass Co.

Fluid Process Chemicals Department.

16.- Especificaciones Técnicas de NaOCl en Solución

Pennwalt, S.A. de C.V.

17.- Manual Práctico de Osmosis Inversa

Comerciales Arva, S.A. de C.V.

Ed. G.G.PIQUE

18.- Giral, José, Barnés Francisco, Ramírez Alejandro

MANUAL PARA EL DISEÑO DE PROCESOS QUIMICOS APROPIADOS PARA
PAISES EN VIAS DE DESARROLLO

Universidad Nacional Autónoma de México, (México, 1977).

19.- Popper, Herbert

MODERN COSTS ENGINEERING TECHNICS

McGraw-Hill (1970)

20.- Timmerhaus, Klaus D., Peters Max S.

PLANT DESIGN AND ECONOMICS FOR CHEMICAL ENGINEERS

Tercera Edición

McGraw-Hill, International Editions

Chemical Engineering Series.

Singapore (1981)

21.- Kern, Donald. Q.

PROCESOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Editorial CECSA

Mexico (1987)

22.- Schweyer, H. E.

PROCESS ENGINEERING ECONOMICS

International Student Edition.

23.- Guthrie, Kenneth M.

PROCESS PLANT ESTIMATING EVALUATION AND CONTROL

Craftsman Book Co. of America

(1974)

24.- Pulp & Paper

CHEMISTRY AND CHEMICAL TECHNOLOGY

Volumen I.

25.- Casey, James P.

PULPING AND PAPERMAKING

Interscience Publisher Inc.

N.Y. (1952)

26.- The Encyclopedia of Chemistry

Sampley Hawley

Tercera Edición, Ed. VNR

27.- The Index Merck

Séptima Edición

□